

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Účinnost respiračních ochranných prostředků proti
mikronovým a submikronovým pevným částicím
v pracovním prostředí

Efficiency of respiratory protective devices against micron
and submicron solid particles in working environment

Student: Bc. Eliška Wehowská

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Kristina Čabanová, Ph.D.

Datum odevzdání: 5. 6 2020

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Eliška Wehowská**

Studijní program: N3942 Nanotechnologie

Studijní obor: 3942T001 Nanotechnologie

Téma: Účinnost respiračních ochranných prostředků proti mikronovým a submikronovým pevným částicím v pracovním prostředí
Efficiency of respiratory protective devices against micron and submicron solid particles in working environment

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je zhodnotit účinnost ochranných pomůcek proti vniknutí mikro a submikronových částic do dýchacího traktu.

Obsahové zaměření diplomové práce:

1. Úvod – riziko mikro a nanočástic z hlediska inhalační expozice.
2. Problematika účinnosti respiračních ochranných prostředků.
3. Charakteristika nejčastěji používaných typů respiračních ochranných prostředků, včetně jejich deklarované účinnosti (platná legislativa).
4. Detekce pevných částic ve vzorcích slin před a po použití respiračního ochranného prostředku. Využití metody skenovací elektronové mikroskopie.
5. Diskuse a závěr - shrnutí získaných poznatků a zhodnocení výsledků měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

Zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů. Česká republika. Parlament ČR. Sbírka zákonů České republiky, 2006, částka 84, s. 3146-3241.

ČSN EN 689. Ovzduší na pracovišti – Pokyny pro stanovení inhalační expozice chemickým látkám pro porovnání s limitními hodnotami a strategie měření. Praha: Český normalizační institut, 1997.

ČSN EN 149+A1. Ochranné prostředky dýchacích orgánů-Filtrační polomasky k ochraně proti částicím-Požadavky, zkoušení a značení. Praha: Český normalizační institut, 2009.

BENCKO, Vladimír; CIKRT, Miroslav; LENER, Jaroslav. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-7169-150-X.

FILIPOVÁ, Zuzana; KUKUTSCHOVÁ, Jana; MAŠLÁŇ, Miroslav. Rizika nanomateriálů. Univerzita Palackého, 2012. ISBN 978-80-244-3201-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Kristina Čabanová, Ph.D.**

Datum zadání: 02.02.2020

Datum odevzdání: 08.05.2020

prof. Ing. Jaromír Pištora, CSc.
vedoucí katedry

Ing. Zdeňka Chmelíková, Ph.D.
prorektorka pro studium

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne:

podpis:

Prohlašuji, že:

- Jsem byl seznámen, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“ má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO v případě zájmy z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1988 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne:

Podpis:

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Eliška Wehowská

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Ostravská 611/40, Hlučín

Poděkování

Tato práce vyšla za přispění projektů č. SP2020/6 a SP2019/56 financovaných Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR

Především bych chtěla poděkovat své vedoucí práce Mgr. Kristině Čabanové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, ochotu a hlavně trpělivost, kterou se mnou při zpracování této práce měla.

Velké díky patří také pracovníkům metalurgické laboratoře, zejména Ing. Petře Matějkové, Ph.D. za poskytnutí prostoru pro analýzu vzorků a užitečné rady. Dále bych chtěla poděkovat také Mgr. Ing. Kamile Hrabovské, Ph.D. za změření objemových magnetických křivek vzorků. Mé díky patří také Ing. Evě Olšovské za pomoc při další analýze vzorků.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou účinnosti respiračních ochranných pomůcek proti pevným částicím při práci. Vzorky slin byly získány od dobrovolníků v průběhu dvou dní, přičemž jeden den respondenti pracovali bez respirátorů a druhý den s respirátorem. Získané vzorky slin byly analyzovány skenovacím elektronovým mikroskopem (bodová a automatická plošná analýza) a vibračním magnetometrem. Ve vzorcích byly detekovány částice na bázi kovů, v případě bodové analýzy se jednalo o částice s obsahem železa, niklu, mědi, titanu, hliníku, stříbra a manganu. Automatickou plošnou analýzou byly detekovány částice s obsahem železa, titanu a ceru. U vzorků s obsahem železa byly následně zjištěny feromagnetické a diamagnetické vlastnosti. U mnoho detekovaných prvků již byl prokázán negativní vliv na živý organismus. Na základě zjištěných informací nelze respirační ochranné pomůcky při práci označit za zcela účinné, zabraňují však proniknutí částic velkých velikostí do dýchacího traktu člověka.

Klíčová slova: respirační ochranné prostředky, částice na bázi kovů, vzorky slin, skenovací elektronová mikroskopie, vibrační magnetometrie.

Anotation

This diploma thesis deals with the issue of respiratory protective equipment effectiveness against solid particles at work. Saliva samples were obtained from volunteers on two days. On the first day, the respondents worked without a respirator and on the second day, they worked with a respirator. The obtained saliva samples were analyzed using a scanning electron microscope (spot analysis and automatic area analysis) and a vibrating magnetometer. Metal-based particles, specifically particles of iron, nickel, copper, titanium, aluminium, silver and manganese, were detected by spot analysis. Particles based on iron, titanium and cerium were detected by automatic area analysis. Ferromagnetic and diamagnetic properties of iron-containing samples were subsequently determined. Many detected elements have already been shown to have a negative effect on living organisms. The information found indicates that respiratory protective equipment at work cannot be described as entirely efficient; nevertheless, it prevents the penetration of large particles into the human respiratory tract.

Keywords: respiratory protective equipment, metal-based particles, samples of saliva, scanning electron microscopy, vibrational magnetometry.

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
1. Úvod	13
2. Teoretická část	14
2.1. Prach v běžném životě	14
2.1.1. Polétavý prach	14
2.1.2. Silniční prach	15
2.1.3. Domácí prach	15
2.1.4. Vliv prachu na lidský organismus	15
2.1.5. Základní definice a termíny pro hodnocení prachu	15
2.1.6. Expozice prachu dýchacím ústrojím a následný vliv na lidský organismus	16
2.1.7. Prach v České republice	19
2.1.8. Prach v Moravskoslezském kraji	21
2.2. Pevné částice v pracovních prostředích	25
2.3. Osobní ochranné pracovní prostředky	28
2.3.1. Rozdělení osobních ochranných pomůcek	29
2.4. Respirační ochranné prostředky	31
2.4.1. Polomaska a čtvrtmaska	33
2.4.2. Filtrační dýchací přístroje	34
2.5. Současný stav výzkumu	37
3. Experimentální část	42
3.1. Vzorky	42
3.1.1. Příprava vzorků	42
3.2. Metody analýzy	43
3.2.1. Skenovací elektronová mikroskopie (SEM-EDS)	43
3.2.2. Vibrační magnetometrie	43
3.3. Výsledky a diskuze	44
3.3.1. Bodová detekce (SEM-EDS)	44
3.3.2. Metoda analýzy v ploše (SEM-EDS)	60
3.3.3. Měření objemových magnetizačních křivek	61
4. Závěr	66
5. Použitá literatura	68

Seznam použitých zkratk

A – filtry určené pro organické plyny a páry s bodem varu nad 65 °C

Ag – stříbro

AgNPs – nanočástice stříbra

Al – hliník

AlNPs – nanočástice hliníku

ALT – alaninaminotransferáza

APRs – respirační ochranné pomůcky schopné čistit vzduch (z ang. Air Puryfying Respirators)

ARI – akutní respirační onemocnění

AST – aspartátaminotransferáza

Au – zlato

AX – filtry určené pro organické plyny a páry s bodem varu do 65 °C

B – filtry určené pro anorganické plyny a pár (krom oxidu uhelnatého)

BSE – zpětně odražené elektrony

CaCO₃ – uhličitan vápenatý

CB-NPs – nanometrické saze

Ce – cer

Co – kobalt

CO – oxid uhelnatý

Cr – chrom

Cu – měď

CuCO₃NPs – nanočástice uhličitanu měďnatého

CuMPs – mikročástice mědi

CuNPs – nanočástice mědi

CuO – oxid měďnatý

CuO-NPs – nanočástice oxidu měďnatého

ČR – Česká republika

ČSN – Česká technická norma

ČSN EN – Česká technická norma zavádějící evropskou normu do norem českých

d_{max} – maximální průměr částice

D – aerodynamický průměr částice

E – filtry určené pro plyn SO_2 a jiné kyselé plyny a páry

EDS – energicky disperzní rentgenová spektroskopie

ENPs – nanočástice připravené záměrně (z ang. engineered nanoparticles)

EU – Evropská unie

Fe – železo

Fe_3O_4 – oxid železnato-železitý

FFP1 – filtrační polomasky s netěsností do 25 %

FFP2 – filtrační polomasky s netěsností do 11 %

FFP3 – filtrační polomasky s netěsností do 5 %

FFT – fit faktor

GGT – glutamyltransferáza

GLDH – glutamatdehydrogenáza

H_2O_2 – peroxid vodíku

$HClO$ – kyselina chlorná

Hg-P3 – filtry určené pro rtuť

$HO\bullet$ – hydroxylová radikál

$HO_2\bullet$ – hydroperoxyl

K – filtry určené pro amoniak a organické deriváty amoniaku

m – magnetický moment

M – magnetizace

MSK – Moravskoslezský kraj

Mn – mangan

NaCl – chlorid sodný

Ni – nikl

NiCl₂ – chlorid nikelnatý

NO-P3 – filtry určené pro oxidy dusíku

NR – jednorázové filtrační dýchací přístroje

O₂• – superoxid

O₃ – ozon

OOP – osobní ochranné prostředky

OOPP – osobní ochranné pracovní prostředky

P – filtry určené pro částice

P1 – označení filtrů proti pevným částicím s nejnižším účinkem

P2 – označení filtrů proti pevným částicím se středním účinkem

P3 – označení filtrů proti pevným částicím s nejvyšším účinkem

PM₁₀ – částice s maximálním průměrem 10 µm (z ang. particulate matter)

PM_{2,5} – částice s maximálním průměrem 2,5 µm (z ang. particulate matter)

PM_{1,0} – částice s maximálním průměrem 1 µm (z ang. particulate matter)

PM_{0,1} – částice s maximálním průměrem 0,1 µm (z ang. particulate matter)

Pt – platina

R – vícekrát použitelné filtrační dýchací přístroje

RO• – alkoxy

ROO• – peroxy

ROP – respirační ochranné prostředky

ROS – reaktivní formy kyslíku (z ang. reactive oxygen species)

RP – respirační pomůcky

RTG – rentgen

SARs – respirační ochranné pomůcky s vlastním zdrojem vzduchu (z ang. Supplied Air Respirators)

SDR – standardizovaná úmrtnost

SE – sekundární elektrony

SEM – skenovací elektronový mikroskop

SiO₂ – oxid křemičitý

Ti – titan

TiO₂ – oxid titaničitý

TiO₂NPs – nanočástice oxidu titaničitého

V – vanad

W – wolfram

WHO – Světová zdravotnická organizace (z ang. World Health Organization)

Zn – zinek

Zr – zirkon

1. Úvod

Znečištěné ovzduší je součástí snad každého města či obce, zvláště v Moravskoslezském kraji, který je známý především pro svou průmyslovou výrobu a výskyt černouhelných dolů. Znečištěný vzduch je někdy při silném znečištění pozorovatelný pouhým okem. Takto znečištěný vzduch není v Moravskoslezském kraji ojedinělým jevem a lze jej pozorovat zvláště pak v zimních měsících. Období s takto silně znečištěným ovzduším jsou poté nazývána jako tzv. smogové situace. Smogové situace s sebou nesou mnoho omezujících doporučení (omezení automobilů, omezení vycházení apod), které mají za cíl ochránit lidské zdraví. Ovšem znečištěné ovzduší nenajdeme pouze venku, ale velmi často se nachází také v místech, kde lidé vykonávají své povolání.

Běžně se pro znečištění ovzduší používá výraz prach. Prach může mít různé složení, které se liší právě místem, kde vzniká či způsobem vzniku. Složení prachu také silně závisí na ročním období. Zatímco v zimních měsících je prach složen především ze sazí a částic, které během topení vylétávají z komínů, v létě jsou hlavní složkou prachu pylové částice z všude přítomných rostlin. S prachem se ovšem lidé nesetkávají pouze v běžném životě, ale také v mnoha případech na svém pracovišti. V průmyslových odvětvích může být prach složen navíc z chemických látek, které jsou součástí výrobků vyráběných v daném provozu. V případě černouhelných dolů se jedná o jedno z nejzaprášenějších pracovišť vůbec. Prachu jsou také ve větším množství vystaveni svářeči či jiná povolání, která pracují s kovy. V těchto případech je prach složen ve velkém množství z kovů, popřípadě jejich oxidů.

Obecně je práce ve znečištěném ovzduší velmi obtížná a z hlediska dlouhodobé expozice může mít negativní vliv na lidské zdraví. Prach, kterému je pracovník vystaven může být tvořen částicemi různých velikostí. Ty větší sedimentují, avšak ty velmi malé částice (submikronové, nanočástice) setrvávají delší dobu ve vzduchu, a proto mohou být snadněji vdechnuty či požitý. K ochraně člověka před znečištěným ovzduším slouží ochranné pracovní pomůcky. Mezi ty nejčastěji používané patří respirátory a roušky. Tyto ochranné pomůcky by měly chránit pracovníka před vdechnutím pevných částic.

Cílem této práce bylo zhodnotit účinnost respiračních ochranných pomůcek při práci na základě detekce pevných částic ve vzorcích slin. Pomocí skenovacího elektronového mikroskopu byly detekovány pevné částice, především na bázi kovů.

2. Teoretická část

2.1. Prach v běžném životě

S prachem se člověk setkává nejen při pracovních činnostech, ale také v běžném životě, což jej řadí mezi nejrozšířenější škodliviny [1].

Prach lze charakterizovat jako polydisperzní tuhý aerosol vzniklý lidskou činností při mechanickém zpracování pevných materiálů, jako je např. vrtání, řezání apod [1]. Vznikat však může prach i bez zásahu, a to např. rozptýlením částic z neupraveného zemského povrchu vlivem proudění vzduchu nebo činností sopek [2]. Prachové částice se pohybují velikostně mezi 1 až 100 μm . Jsou-li částice větší než 30 μm , označují se jako hrubý prach a při běžných podmínkách snadno sedimentují [1]. Tepelnými procesy vzniká kouř, jehož částice jsou velké 0,01 až 0,5 μm . Při chemických oxidačních procesech (svařování) je uvolňován dým s částicemi o velikosti 0,1 až 1 μm . V rozmezí velikostí prachových částí se mohou nacházet také látky biologického původu, jako např. pyly, spóry plísní nebo mikroorganismy. Tyto látky jsou pak označovány jako bioaerosoly [2].

Prach je často rozdělován do různých skupin, převážně podle místa nálezu a vzniku. Poléťavý prach, silniční prach nebo domácí prach jsou „druhy“ prachu, jejichž účinky na lidský organismus zde budou popisovány. Složení těchto prachů se může lišit, a to právě podle jejichž zdroje.

2.1.1. Poléťavý prach

Jako poléťavý prach jsou označovány především miniaturní tuhé částice lišící se svou velikostí, chemickým složením i původem. Poléťavým prachem jsou považovány částčky menší než 1 μm , často se označují podle velikosti jako PM_{10} (částice $\leq 10 \mu\text{m}$) a $\text{PM}_{2,5}$ (částice $\leq 2,5 \mu\text{m}$) [3]. Čím jsou částice menší, tím déle se ve vzduchu drží a hůře tedy sedimentují. Pro představu, např. částice PM_{10} ve vzduchu poletují několik hodin a částice $\text{PM}_{1,0}$ dokonce i několik týdnů, dokud je nespláchne déšť [4]. Mezi hlavní zdroje tohoto prachu jsou především spalovací procesy v těžkém průmyslu (hutě, spalovny odpadů apod), automobilová a nákladní doprava či vytápění domácností. Poléťavý prach je tedy všudypřítomný, největší koncentrace se však soustřeďuje především ve městech, nebo v blízkosti těžebních a cementářských provozů. V menších městech a vesnicích je zdrojem prachu především vytápění domácnosti kany, která jsou ve špatném technickém stavu [4].

2.1.2. Silniční prach

Silniční prach je složen z částic, které vznikají jakýmkoli mechanickým zpracováním materiálů, včetně mletí, drcení, detonace či znehodnocování organických a anorganických materiálů. Částice, které se do ovzduší dostanou vlivem tření pneumatik o silnici, ať už prašnou nebo nezpevněnou, se nazývají jako silniční prach. Častými složkami silničního prachu jsou prvky skupiny platiny (platina, rhodium a bohrium), olovo, hliník, zinek, vanad a polycyklické aromatické uhlovodíky [4].

2.1.3. Domácí prach

Domácím prachem se označuje prach, který vzniká v obytném prostředí a zahrnuje také složky z rostlin, pylu, mikroorganismů, hmyzu, kožních šupin, vlasů a vláken. Součástí jsou také materiály kontaminované chemikáliemi ze spalování, nábytku, elektroniky, čistících prostředků apod. V současné době převážnou část dne lidé tráví v uzavřených prostorech, tudíž jsou těmto vlivům vystaveny hojně [5].

2.1.4. Vliv prachu na lidský organismus

Lidský organismus je ovlivňován mnoha vnějšími vlivy. Jeden z nich je také prach, před kterým se dá jen velmi obtížně chránit, jelikož je všudypřítomný. Expozice prachu do lidského těla je převážně prováděná dýchacím ústrojím.

Prach může být rozdělen na toxický a netoxický, a lze jej rozdělit podle působení na lidský organismus na:

- Prach s převážně nespecifickým účinkem.
- Prach s možným fibrogenním účinkem.
- Prach s převážně fibrogenním účinkem.
- Prach s převážně dráždivým účinkem.
- Minerální vláknitý prach (nařízení vlády č. 361/2007 Sb) [2].

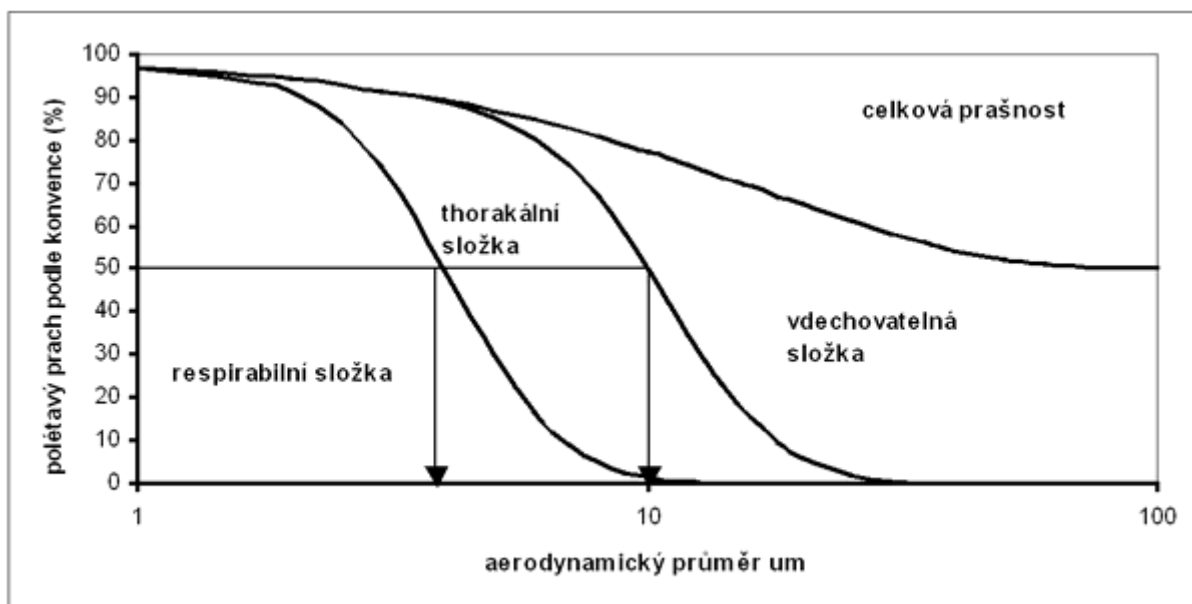
Dýchací ústrojí není jedinou cestou, jak lidský organismus může přijít do styku s prachem. S prachem samozřejmě také přichází velmi často do styku lidská pokožka. Vliv prachu v tomto případě z velké části závisí na citlivosti jedince. Pokožka může na styk s většinou organických prachů či některými anorganickými prachy reagovat podrážděním, nebo alergickými reakcemi.

2.1.5. Základní definice a termíny pro hodnocení prachu

Z hlediska ohrožení lidského zdraví mají velký význam nejen chemické, fyzikální a biologické vlastnosti, ale také velikost částic prachu. Důležité je také to, jak hluboko se

částice do dýchacího ústrojí dostanou. Z těchto důvodů bylo definováno několik pojmů, které umožňují pochopit principy působení prachových částic [2].

- Aerodynamický průměr částice D – je to průměr koule o hustotě 1 g/cm^3 se stejnou ustálenou rychlostí způsobenou gravitační silou v klidném ovzduší, jako má částice za obvyklých podmínek týkajících se teploty, tlaku a relativní vlhkosti.
- Vdechovatelná frakce – hmotnostní frakce poletavého prachu vdechnutá ústy a nosem.
- Thorakální frakce – hmotnostní frakce vdechovaných částic, které pronikají za hrtan.
- Respirabilní frakce – hmotnostní frakce vdechovaných částic, které pronikají do dýchacích cest bez řasinkového epitelu.
- Dýchací zóna – jedná se o prostor v bezprostřední blízkosti úst a tváří (přesněji polokulový prostor obecně o poloměru $0,3 \text{ m}$ se středem v polovině spojnice obou uší a vymezený rovinou tváře procházející touto spojnici, vrcholem hlavy a ohryzkem [2].

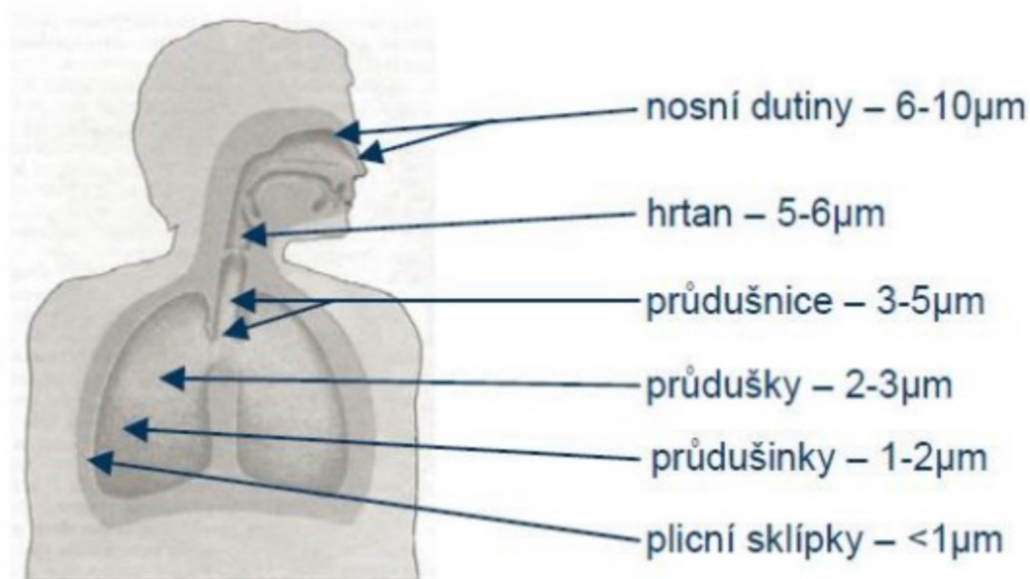


Obrázek 1: Graf znázorňující vztah mezi složkou prachu a velikosti prachových částic [19].

Z Obrázku 1 lze vypočítat, že částice poletavého prachu s velikostí $D = 10 \text{ μm}$ je z 50 % v thorakální frakci a může tedy pronikat až za hrtan. Stejný podíl částic, tedy 50 % poletavého prachu s velikostí $D = 4 \text{ μm}$ je respirabilní frakci [2].

2.1.6. Expozice prachu dýchacím ústrojím a následný vliv na lidský organismus

Největší množství prachových částic se do lidského těla dostane dýchacím ústrojím, a to jak ústy nebo nosem. „Osud“ prachových částic závisí na jejich velikosti, jak lze vidět na Obrázku 2.



Obrázek 2: Průchod prachových částic do dýchacího ústrojí podle velikosti [6].

Hrubé částice prachu jsou zachyceny v horních cestách dýchacích, kde patří dutina nosní, nosohltan, ústní část hltanu a hrtanová část hltanu. Horní cesty dýchací zachytí většinu částic větších než 5 μm [2]. Velké množství částic je zachyceno v nose, a to díky chloupkům, které tak plní funkci dobrého filtru [7]. Pohybujícím se řasinkovým epitelem, který tvoří výstelku nosní dutiny, se částice dostávají s hlenem do nosohltanu a následně jsou spolknuty, vykášlány nebo vykašlány. [2,7] Zatímco větší částice v dýchacích cestách sedimentují, menší částice pronikají hlouběji. Čím menší prachové částice jsou, tím se pravděpodobnost jejich průniku do plicních sklípků zvyšuje. Pokud jsou částice menší než 3 μm , pravděpodobnost průniku do plicních sklípků je vyšší než 50 %. Frakce prachu tvořena malými částicemi, jenž je vdechnutelná až do plic, je pro zdraví člověka nejnebezpečnější [2].

Lidské plíce mají své ochranné mechanismy, kterými se proti vniknutí prachu brání. Např. horník může během svého života vdechnout až 1000 g prachu, avšak při zkoumání plic po smrti horníka se v nich nachází „pouze“ 40 g prachu. To nasvědčuje tomu, že plíce jsou schopny se prachu zbavit relativně efektivně. Obranné mechanismy však nejsou až tak účinné na to, aby nedocházelo k ovlivnění lidského zdraví prachem [7].

Prachové částice se mohou s vdechnutým vzduchem dostat až do plicních sklípků (alveolů). Plicní sklípky jsou pro život člověka velmi důležité, nýbrž právě zde dochází k příjmu kyslíku a ke zpětnému uvolňování oxidu uhličitého. Prach, který zasáhne alveoly a dolní část dýchacích cest, jenž není vystlána řasinkovým epitelem, je napadán speciálními buňkami – makrofágy. Tyto buňky jsou důležitou ochranou plic, jelikož udržují alveoly

čisté. Makrofágy v podstatě přítomné nečistoty „spolknou“, poté se přesouvají dosud neznámým způsobem do části plic, která je vystlána řasinkovým epitelem. Vlnovými pohyby řasinek se makrofágy obsahující prach pohybují až do hrdla, kde jsou vykašlány nebo polknuty [7].

Makrofágy však nejsou jediným ochranným mechanismem plic proti prachu. V plicích se také nacházejí speciální proteiny, které se na nechtěné částice naváží a tím je neutralizují [7].

Reakce dýchacího systému reaguje na inhalované částice v závislosti na jejich množství a také podle toho, kde se inhalované částice usadí. Např. dráždivý prach, který se usazuje v nose může vést k rýmě či zánětu sliznice. Pokud jsou částicemi napadeny větší „průchody“ vzduchu, jako např. průdušky nebo průdušnice, může to vést k jejich zánětu. Jak již bylo zmíněno, částice, které nosem a krkem projdou se mohou usazovat přímo v plicních sklípcích. Pokud se jedná o velké množství prachu, může dojít k tomu, že ochranný systém makrofágů selže. To vede k tomu, že se prachové částice a také makrofágy, které je obsahují shromažďují v plicních tkáních a způsobují poranění plic. Rozsah a závažnost poranění plic je samozřejmě ovlivněno množstvím a složením prachu. Např. pokud makrofágy pohltnou prachové částice oxidu křemičitého, dojde k jejich odumření a vyloučení toxických látek, které způsobují zjizvení tkání. Tato zjizvená tkáň může omezit funkčnost plic. Zjizvení tkáně se nazývá fibróza a částice, které ji způsobují se nazývají fibrogenní. Pokud se jedná výše uvedený případ, tedy o částice oxidu křemičitého, má tento stav název silikóza [7].

Působení částic je silně ovlivněno mnoha faktory, mezi ně např. patří velikost částic, což je kritický parametr. Dalším parametrem je jejich složení, některé látky ve formě částic jsou totiž schopny řasinkový epitel zničit. Účinky prachu jsou také neméně ovlivněny přímo jednotlivcem, záleží, s jakou frekvencí daný jedinec dýchá, zda kouří nebo zde dýchá nosem či ústy [7].

Některým onemocněním plic, která jsou prachem způsobena se obecně říká pneumokonióza, což lze volně vyložit jako „zaprášené plíce“. Při vdechnutí částic azbestu, berylu či kobaltu může dojít ke kompletnímu pokrytí plic, čímž ztuhnou a ztrácejí tak svou pružnost. Všechny částice však nezpůsobují zjizvení tkání či jejich poškození. Např. uhlík či železo zůstávají v makrofázích do té doby, než neumřou. Pokud však jejich množství překročí počet makrofágů, dochází k pokrytí vnitřní stěny dýchacích cest, nevzniká však žádné zjizvení tkání, může dojít k jejich mírnému poškození, ale také nemusí [7].

Některé částice se také rozpouštějí v krvi a krevním řečištěm jsou rozváděny po celém těle, a tudíž mohou ovlivňovat jiné orgány v těle, jako např. mozek, ledviny apod [7].

Tabulka 1: Tabulka ukazující působení některých částic na dýchací cesty. Upraveno dle [7].

anorganický prach	Typ nemoci	Reakce plic
azbest	azbestóza	fibróza
silica (křemen)	silikóza	fibróza
uhlík	uhlíková pneumokonióza	fibróza
beryllium	onemocnění berýlií	fibróza
karbid wolframu	onemocnění tvrdých kovů	fibróza
železo	sideróza	žádná fibróza
cín	stannóza	žádná fibróza
baryum	baritóza	žádná fibróza

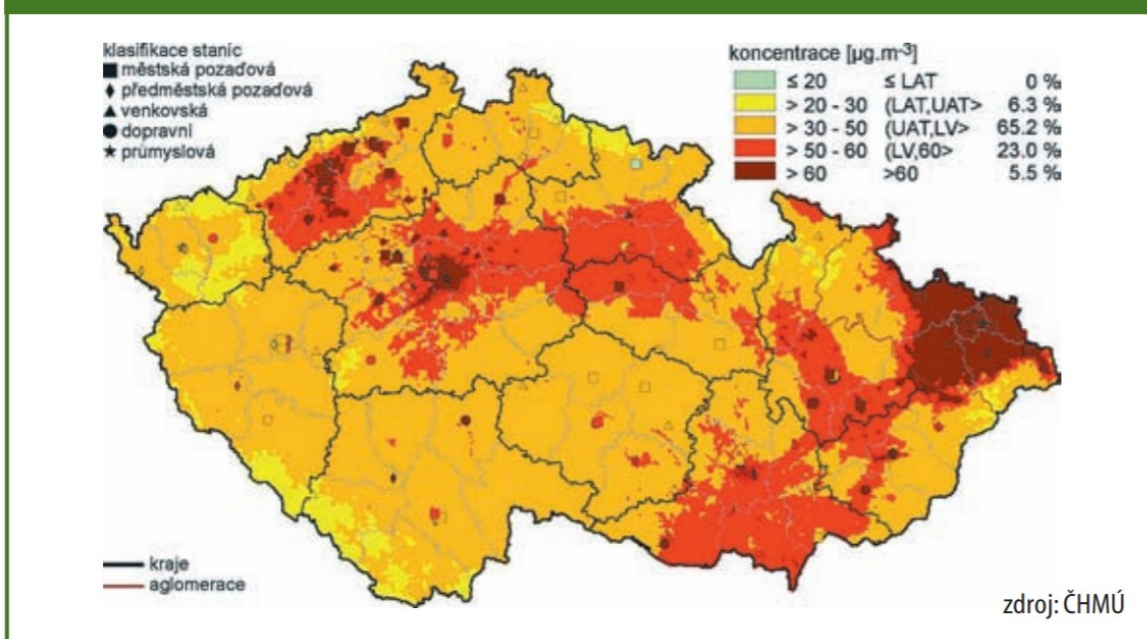
Některé dráždivé prachy, převážně organické, mohou vyvolat přecitlivělost, která se projeví např. jako průduškové astma. Infekční prach obsahující choroboplodné zárodky zachycené na prašných částicích může způsobit vážná onemocnění, mezi které patří bakteriové a plísňové infekce způsobené bioaerosem. Toxické prachy mohou vyvolat systematickou intoxikaci. Existují také karcinogenní prachy, které mohou, jak již jejich název napovídá, způsobovat nádorová onemocnění [2].

Podle statistik členských států EU dochází k úmrtím na následky znečištění ovzduší u cca 370 000 lidí a jen v Německu bylo prokázáno, že polétavý prach má vliv na 65 000 úmrtí ročně. Je odhadováno, že vysoká koncentrace polétavého prachu zkrátí život každého z nás o cca 9 měsíců [3]

2.1.7. Prach v České republice

Od roku 2002 je zavedeno povinné měření koncentrace polétavého prachu na více než sto stanicích po celé ČR. Např. v letech 2005 a 2006 bylo vysoké koncentraci vystaveno cca 60 % českého obyvatelstva (Obrázek 3).

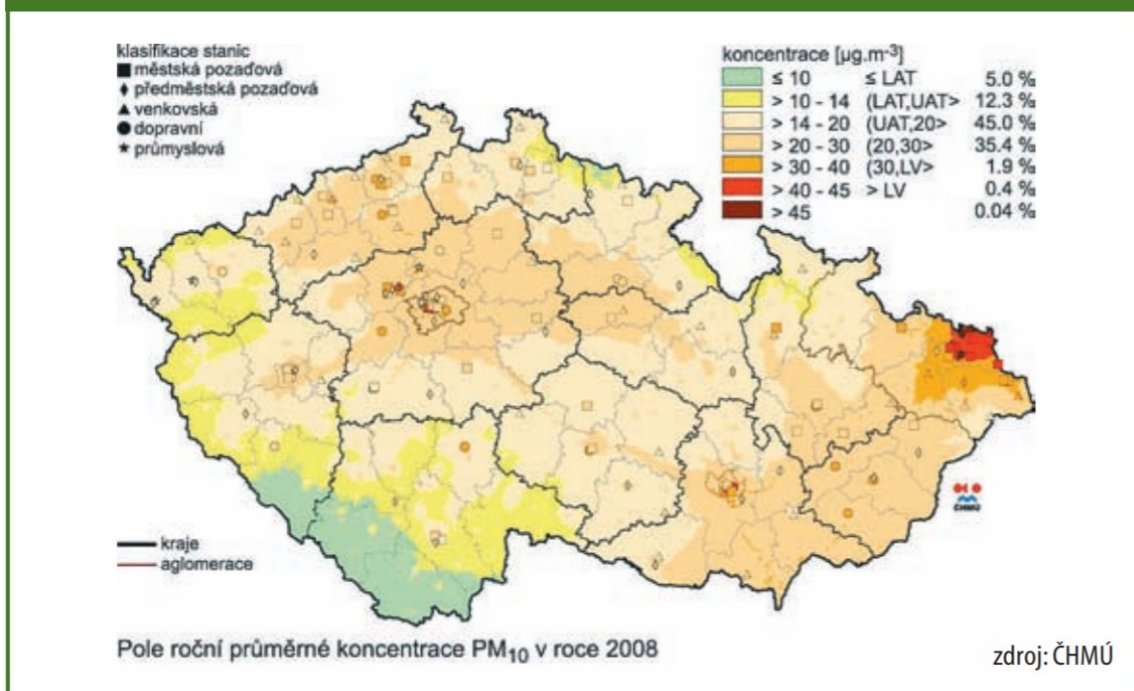
Denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v roce 2006, denní imisní limit je 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (povolený počet překročení je 35 v roce)



Obrázek 3: Mapa ukazující koncentraci prachu v závislosti na území v ČR v roce 2006 [3].

V letech 2007 a 2008 došlo ke zlepšení situace na území republiky, avšak stále na mnohých místech dochází k překročení imisních limitů stanovených z hlediska ochrany lidského zdraví, jak lze vypořádat z Obrázku 4.

Denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v roce 2008



Obrázek 4: Mapa ukazující koncentraci prachu v závislosti na území v ČR v roce 2008 [3].

Jak je z mapy (Obrázek 4) patrné, mezi nejvíce zatížená města polétavým prachem patří Ostrava, Karviná, Praha, Brno, Olomouc, Ústí nad Labem, Plzeň a další. Problém představuje také znečištění ovzduší na vesnicích, které je způsobeno především vytápěním domácností v nekvalitních kotlích [3].

2.1.8. Prach v Moravskoslezském kraji

Velkým problémem v našem, tedy Moravskoslezském kraji jsou časté tzv. smogové situace, které ztěžují lidem a všem živočichům dýchání a často také vznikají zdravotní problémy, které jsou se smogem přímo spojeny.

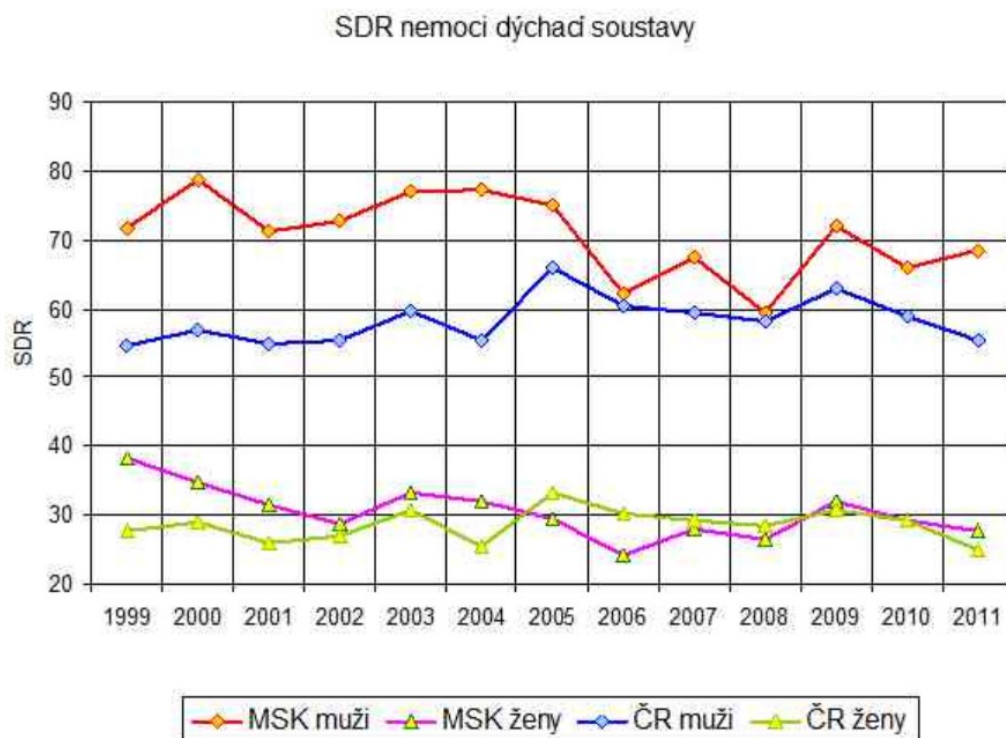
Smog je obecně charakterizován jako chemické znečištění atmosféry, které je zapříčiněno lidskou činností a je již z pravidla zdraví škodlivý. Smogové situace lze rozdělit na letní a zimní. Letní smog je často také označován jako oxidační, losangelský nebo fotochemický a je tvořen oxidy dusíku a uhlovodíky, jejichž zdrojem jsou především výfukové plyny z autodopravy. Za slunečního záření tyto látky reagují za vzniku tzv. přízemního ozonu, který je pro lidské zdraví nebezpečný. Nejvyšší koncentrace jsou zaznamenávány v poledne a také v odpoledních hodinách. Zimní smog je poté často označován jako londýnský nebo redukční, vzniká především na podzim a v zimě v průmyslových aglomeracích nebo v hustě osídlených oblastech, a to z klasických škodlivin. Zimní smog je zesilován teplotní inverzí a bezvětřím, jeho maxima jsou zaznamenávány zpravidla brzy ráno [8].

Při smogové situaci je vhodné celkově omezit pobyt venku, omezit větrání, zvýšit a posílit obranyschopnost (imunitu vlastního organismu), omezit vlastní produkci ať už to v interiéru (kouření apod), nebo v exteriéru (rozdělávání ohňů, používání osobních automobilů) atd [9]. Smogová situace je vyhlášena, pokud je ovzduší znečištěno oxidem siřičitým, oxidem dusičitým, částicemi PM₁₀ nebo troposférickým ozonem nad úroveň povolenou zákonem o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb [10]. Pokud dojde ke smogové situaci, je zaváděno regulační opatření, při němž dané zdroje (určité firmy) omezí vypouštění emisí, i za cenu snížení výroby. Nezanedbatelnou roli, zejména v našem kraji, kde převládá těžký průmysl, hraje i vliv pracovního ovzduší na zdraví.

Největší podíl na znečištění v našem kraji představují prachové částice, které v závislosti na své velikosti, tvaru a složení mohou působit na zdraví svými vlastnostmi, nebo mohou přispívat ke zvýšení zdravotních rizik tím, že slouží jako nosiče jiných, nebezpečných látek (chemické látky, alergenů, plísní apod.) Míra rizik je vyhodnocována porovnáním daných hodnot s hodnotami referenčních koncentrací, které jsou pro danou látku limitní či doporučené. Referenční hodnoty prachových částic jsou udávány v mikrogramech, což je

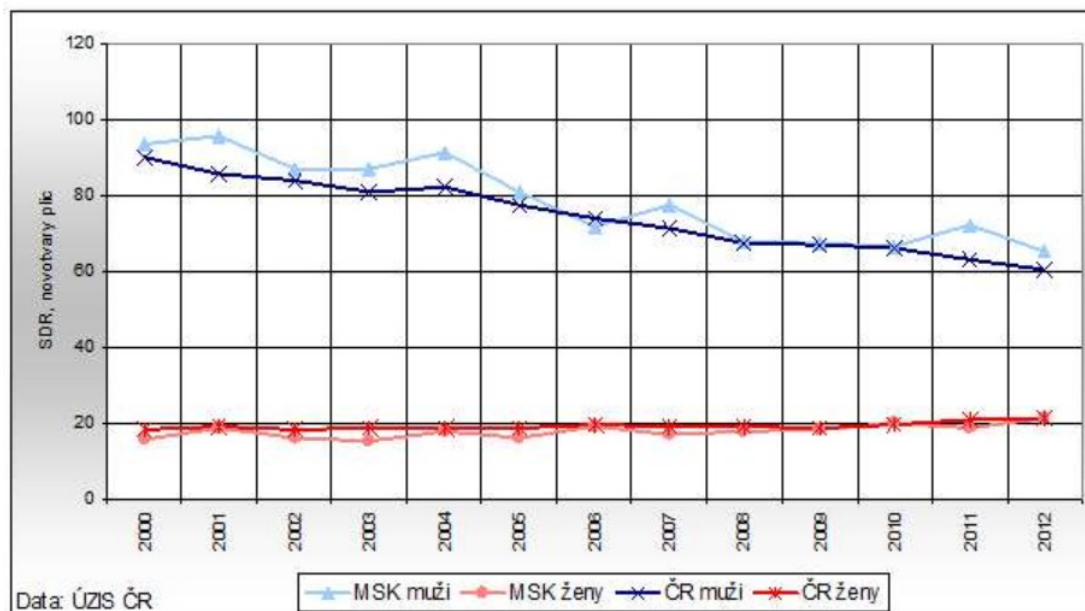
méně nebezpečné v porovnání s hodnotami obsahu specifických organických látek udávaných v nanogramech (benzo(a)pyren) či dokonce pikogramech (dioxiny). Nebezpečné a nejisté je však spolupůsobení různých látek a také jejich následné reakce, rozdílná je však také citlivost jednotlivců. Limitní hodnoty venkovního ovzduší při pobytu 1 – 6 hodin jsou $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ denně a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ročně, přičemž doporučená koncentrace WHO je $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vnitřní ovzduší má také své limitní hodnoty, ty se udávají pro pobyt 18 – 23 hodin denně a jejich hodnota je $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za hodinu. V případě pracovního ovzduší jsou limitní hodnoty stanoveny pro jednotlivé typy prachu a udávají se pro 8hodinový pobyt. Pro fibrogenní prach je limitující hodnota $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (respirabilní prašnost), pro možný fibrogenní prach je to $4 - 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (celková prašnost), pro nespecifický prach $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ (celková prašnost), pro dráždivý prach $2 - 6 \text{ mg}/\text{m}^3$ (celková prašnost), pro azbest 0,1 (počet respirabilních vláken/ cm^3) a pro umělá minerální vlákna 1,0 (počet respirabilních vláken/ cm^3) [11].

Prachové částice mají za následek mnoho onemocnění, které mohou být méně či více závažná. Mezi ty méně závažná patří respirační onemocnění jako je např. kašel, naopak, mezi nejzávažnější onemocnění, která mohou být následkem vysoké expozici prachu jsou rakovinná onemocnění. Jedním z nejvýznamnějších zdravotních ukazatelů je tzv. standardizovaná úmrtnost (SDR). Je charakterizována jako teoretická intenzita úmrtnosti v reálné populaci přepočítávaná na 100 000 osob ve vztahu k věkové struktuře populace. Prachové částice nejčastěji zasahují dýchací soustavu člověka. Z Obrázku 5 lze vypožorovat pozitivní trend SDR od roku 1999 s hledem na dýchací soustavu v rámci celé České republiky, avšak hodnoty SDR v Moravskoslezském kraji jsou stále vyšší, než je průměr ČR, převážně se tato fakta týkají mužské populace [12].



Obrázek 5: SDR s ohledem na dýchací soustavu od roku 1999 do roku 2011 [12].

Existují také statistiky týkající se úmornosti na zhoubné novotvary dýchacího ústrojí, které zahrnují porovnání údajů o úmrtnosti v Moravskoslezském kraji v rámci ČR. Vývoj úmrtnosti od roku 1995 do roku 2011 je uvedeno na Obrázku 6.

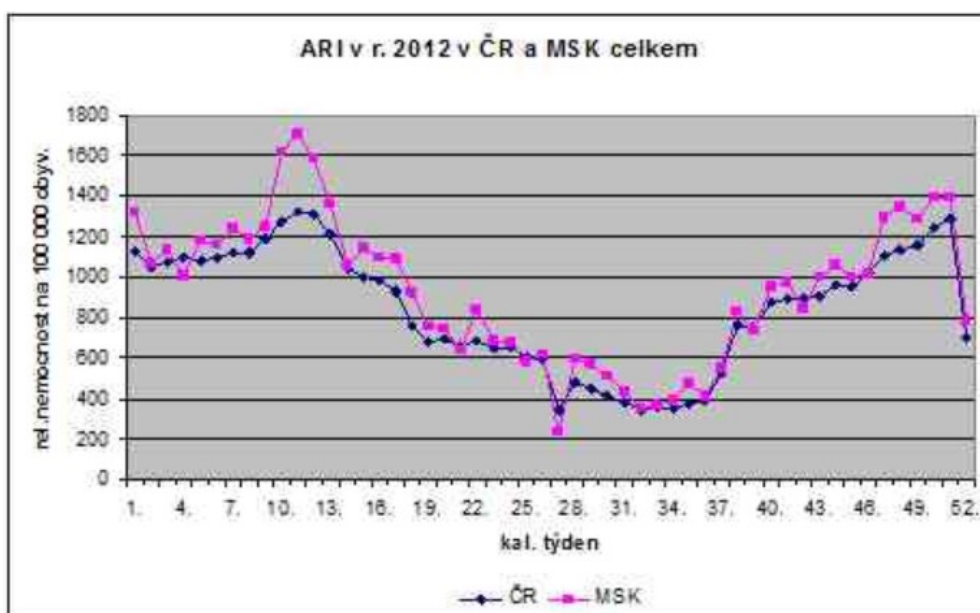


Obrázek 6: Vývoj úmrtnosti na zhoubné novotvary od roku 1995 do roku 2011 [12].

Podobně jako v případě SDR na Obrázku 5 lze i zde, na Obrázku 6 vypořadovat pozitivní trend. U mužské populace Moravskoslezského kraje opět také dosahuje úmrtnost vyšších

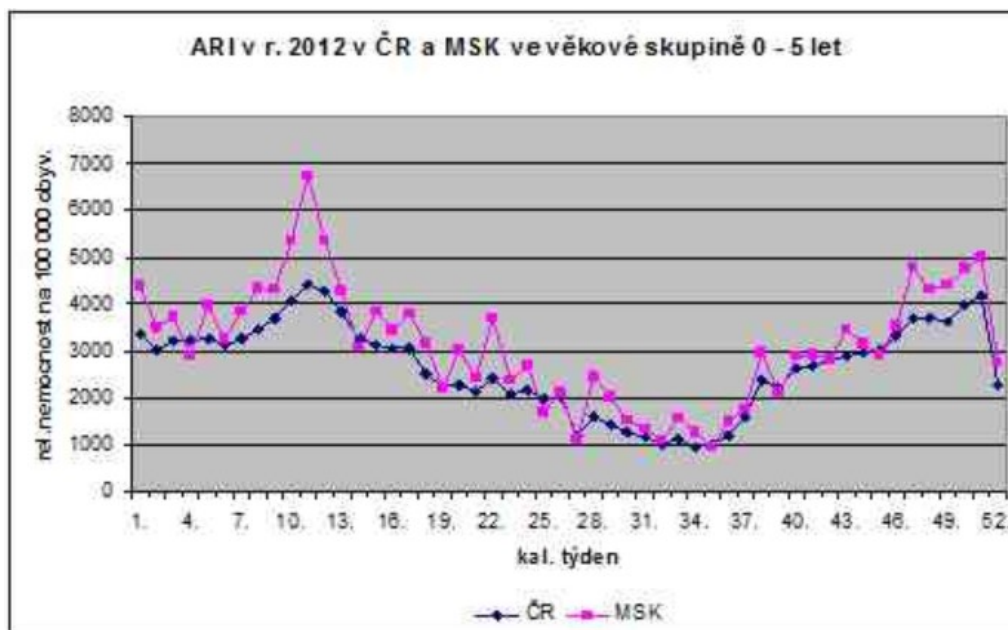
hodnot, než je tomu průměrně v rámci ČR, tedy obdobně jako SDR na Obrázku 5. Ovšem obecně lze říct, že dlouhodobě se situace vyvíjí pozitivně, tedy je zaznamenáván pokles v případech obou znázorněných statistik [12].

Statistiky se netýkají pouze úmrtnosti, ale také jsou zaznamenávány data týkající se akutních respiračních onemocnění (ARI). Statistiky jsou udávány v období jednoho kalendářního roku a je posuzován celkový počet nemocných a poté počet nemocných dětí ve věkovém rozmezí 0 až 5 let [12]. Na Obrázku 7 je znázorněn průběh akutních respiračních onemocnění celkem.



Obrázek 7: Vývoj akutních respiračních onemocnění celkem v roce 2012 [12].

Z Obrázku 7 lze jasně vypořadovat, že nejvíce případů akutních respiračních onemocnění se vyskytlo mezi 9. a 13. týdnem, přičemž svého maxima počet nemocných dosáhl v 10. a 11. týdnu, kdy byla překročena hranice vyznačující epidemický výskyt (1 600 případů/100 tis. obyv.). Stejný trend lze pozorovat také z Obrázku 8, který se týká dětí ve věkovém rozmezí 0 až 5 let. V této věkové skupině byla situace nejméně příznivá právě v již zmiňovaném 10. a 11. týdnu. Při srovnání dat získaných v rámci celé ČR a Moravskoslezského kraje lze vypořadovat mírně vyšší hodnoty týkající se právě Moravskoslezského kraje, a to v obou pozorovaných skupinách [12].



Obrázek 8: Vývoj akutních respiračních onemocnění u dětí ve věku 0 - 5 let v roce 2012 [12].

2.2. Pevné částice v pracovních prostředích

Nejen pevné částice se nacházejí skoro všude okolo nás i v běžném životě, nejčastěji se jedná o částice mikronových a submikronových velikostí. Pevné částice tvoří ve vzduchu aerosol, jehož složení je různé podle místa výskytu. Mnoho částic se nachází také na různých pracovištích. Množství (koncentrace) a složení přítomných částic záleží na tom, kde se nacházejí. Nanočástice lze rozdělit do tří kategorií podle jejich vzniku. První kategorií jsou nanočástice přirozeně se vyskytující, kam se řadí např. sopečný popel. Do druhé kategorie se řadí nanočástic, které vznikají neúmyslně, jako např. při spalování. Poslední kategorií, která se čím dál více rozrůstá jsou nanočástice připravené záměrně a označují se jako tzv ENPs (*z ang. engineered nanoparticles*). ENPs se rozšiřují do různých, nejen průmyslových odvětví, své uplatnění nalézají v medicíně, strojírenství apod. Velký problém však představují právě částice, které se do ovzduší dostanou neúmyslně, jelikož mohou být různého složení a velikostí. V některých zaměstnáních jsou pracovníci vystaveni různým koncentracím a částicím o různém složení.

Při svařování jsou lidé vystavováni pevným částicím mikronových a submikronových velikostí, které jsou součástí tzv svařovacího dýmu. Při svařování se samozřejmě liší složení jednotlivých částic podle toho, jaký kov je zrovna svařován. Nicméně, Meibian a kol. (2016) provedl studii která analyzovala částice vznikající při svařování části automobilových motorů v Číně. Bylo zjištěno, že elementárně se tyto částice skládají z železa, uhlíku, kyslíku, křemíku a manganu v případě částic velkých řádově 1000 nm. Částice velké pod

100 nm měly navíc ve svém elementárním složení také přítomný zinek a měď. Vzniklé částice byly distribuovány ve třech skupinách, a to jako primární nanočástice, aglomeráty a hrubé částice. Primárních nanočástic, jejichž velikost je definována ≤ 100 nm, bylo v naměřeném objemu nejméně. Naopak, aglomeráty, jejichž velikost byla mezi 100 nm a 10 000 nm, tvořili převážnou část vzniklých částic. Zbylé množství tvořily hrubé částice velikostí nad 10 000 nm. Na množství částic přítomných v pracovním ovzduší má vliv mimo jiné také vzdálenost odběru vzorků, složení vzduchu, rychlost cirkulace vzduchu či technická kontrolní opatření [13].

Vzhledem k rozšiřujícím se informacím o toxicitě některých nanočástic se některé studie zaměřují na expozici konkrétních nanočástic u pracovníků. Např. Min-Pei a kol. (2011) zaměřil svou studii na posouzení možného rizika expozice nanočástic oxidu titaničitého (TiO_2 -NPs) a nanometrických sazí (CB-NPs) přítomných ve vzduchu. TiO_2 -NPs jsou velmi využívaným materiálem pro své výjimečné vlastnosti, mezi které patří schopnost katalýzy nebo jeho výrazná bílá barva. Pro svou bílou barvu je používán velmi často jako pigment do různých barev či nátěrů. Jeho katalytické schopnosti se využívají zejména pak v opalovacích krémech. Saze jsou práškovou formou elementárního uhlíku, největší část sazí (cca 90 %) se používá pro vyztužení pryže, zbývající část objemu se využívá k výrobě tiskařských barev apod. Tato studie vznikla na základě zveřejněných informací, že TiO_2 -NPs a CB-NP mohou mít nepříznivý vliv na lidské zdraví. Bylo zjištěno, že kumulace CB-NPs v lidských plicích byla vyšší než v případě TiO_2 -NPs. Bylo také zjištěno, že ventilační systém se schopen koncentraci přítomných nanočástic v ovzduší výrazně snížit, nejlepší výsledků však bylo dosaženo v případě, kdy byla použita současně také respirační ochrana pracovníků v podobě respirační polomasky N95. Respirační polomasky N95 pracují na principu elektrostatického náboje přítomného na vláknech filtrů, tím pádem se cizí částice na filtru zachytí. Prokázalo se ovšem, že snížení elektrostatického náboje má za následek značné zvýšení penetrace částic, přičemž se velikost pronikajících částic posunula z nanometrů do hodnot mikrometrů [14].

Další studii zabývající se expozicí pevných částic na pracovišti provedl Chuen-Jinn a kol. (2011), a to na třech různých pracovištích. Prvním pracovištěm byl německý závod na výrobu epoxidové tvarovací hmoty, kde se používá nano- SiO_2 . Druhým pracovištěm byla společnost vyrábějící syntetický kaučuk na Thai-wanu, konkrétně bylo vybráno místo, kde se kaučuk pytluje a pracovníci jsou vystaveni CB-NPs. Poslední, třetím pracovištěm byla opět taiwanská, tentokrát ovšem na výrobu plastů, kde je využíváno nano- CaCO_3 . Primární částice zjištěné a měřené na TEM byly ve velikosti 15 ± 2 nm pro nano- SiO_2 , 32 ± 7 nm pro

CB-NPs a 94 ± 10 nm pro nano- CaCO_3 , převážně se jednalo však o volné aglomeráty. Ovšem koncentrace uvedených částic v jednotlivých pracovištích nebyla nijak vysoká a korespondovala převážně s koncentracemi částic přítomných v ovzduší pozadí. Zvýšená koncentrace se vyskytla pouze v případě CB-NPs, a to z důvodu přítomnosti vysokozdvížného vozíku na naftový pohon. Studie poukazuje také na obtížnost měření přítomnosti nanočástic v ovzduší na pracovištích, neboť výsledky jsou snadno ovlivnitelné náhodnými vlivy nebo také tím, že některé nanočástice mohou být navázány na částice větší [105]

Seunghon a kol. (2012) ve studii porovnávají čtyři různá pracoviště, přičemž dvě z pracovišť se zabývají cílenou výrobou nanočástic a na zbylých dvou vznikají nanočástice neúmyslně. Prvním pracovištěm (A) byly vyráběny TiO_2 -NPs a Al-NPs a místo bylo opatřeno ventilací. Na druhém pracovišti (B) se cíleně vyráběly Ag-NPs, Al-NPs a Cu-NPs, zde pracovníci měli rukavice na ochranu svých rukou a místo bylo opět opatřeno ventilací. Na zbylých dvou pracovištích byly svařovány elektrickým obloukem výrobky z měkké oceli, přičemž na prvním z těchto pracovišť (C) byly svařovány části bagrů a na druhém (D) byly svařovány cívky. Výsledky ukázaly různé velké částice na všech čtyřech pracovištích, přičemž $\text{PM}_{1,0}$ bylo přítomných nejvíce na pracovišti C a nejméně na pracovišti B. Stejně tomu bylo také v případě částic nad 100 nm. Přítomnost částic byla velmi výrazně ovlivněná úkonem, který byl zrovna prováděn, což může uvedené výsledky zkreslit [16].

Další studii zabývající se expozicí nanočástic oxidů kovů na pracovišti provedl Curwin a Bertke (2011), kdy se zaměřili na sedm zařízení na výrobu oxidu kovů. Pozorována byla velká, střední, ale také malá zařízení vyrábějící oxidy kovů železa, titanu, yttria, hliníku, vápníku či hořčíku. Pracovníci ve velkých zařízeních byly vystaveni vyššímu počtu přítomných nanočástic ve vzduchu. Vyšší hmotnostní koncentraci však zaznamenali u středních zařízení. Nejvíce přítomných nanočástic bylo v místech výrobních procesů, zejména to byly malé částice. Pracovníci však byly vystaveny největšímu počtu částic při procesech manipulačních. TEM potvrdil také přítomnost částic, přičemž většina částic byla aglomerována a velikostní distribuce se pohybovala v rozmezí 0,1 až 1 μm [17].

Dalším pracoviště, které bylo zahrnuto ve studii ohledně expozice kovových částic, bylo pracoviště, kde se využívá barev k nástřikům výrobků, studii provedli Chai-Hsiang a Ting-Yu (2016). Výsledky zde ukazují, že nejvyšší hmotnostní koncentraci vykazovaly částice $\text{PM}_{>18}$, vyskytly se také PM_{10} , submikronové částice (PM_1) a ultrajemné částice ($\text{PM}_{0,1}$), avšak již s nižší koncentrací. Nejčastěji se vyskytujícím prvkem bylo olovo a železo, přítomné byly však také významně kovy karcinogenní, jako je kadmium, arsen, nikl a chrom,

jejichž velikost byla v rozmezí 0,4 – 2,1 μm . Tato velikost je již průměrem vdechovaných částic, což naznačuje, že se tyto karcinogenní kovy mohou ukládat v plicích. Přesto, že byl prostor pracoviště větrán, byla koncentrace karcinogenních kovů nad limitem, což může vést ke karcinogennímu riziku pro pracovníky [18].

2.3. Osobní ochranné pracovní prostředky

V mnoha zaměstnáních se lidé setkávají s různými potencionálními nebezpečími, které mohou nějakým způsobem ohrožovat jejich zdraví. Pokud je člověk vystaven jakémukoli pracovnímu riziku, měl by při své práci používat osobní ochranné prostředky (OOPP), které je povinen poskytnout zaměstnavatel. Poskytnutí OOPP zaměstnancům je až krajní možnost jejich ochrany. Pravidla bezpečnosti a ochrany zdraví při práci vyžadují prevenci před vystavením zaměstnanců zdravotním rizikům tak, aby bylo chráněno jejich zdraví, bezpečnost a dobré životní podmínky. Zaměstnavatelé jsou nuceni provést prověření rizik a podle nich poté přijmout příslušná opatření. Mezi taková opatření lze zařadit např. odstranění či nahrazení nebezpečného materiálu nebo změnu pracovního procesu. Pokud však nelze tuto provést kolektivní ochranu, ať už z důvodů vysokých finančních nákladů či složitosti provedení, je zaměstnavatel povinen poskytnout zaměstnancům potřebné osobní ochranné pracovní prostředky [19].

Osobní ochranné pracovní prostředky jsou právě definovány v Zákoníku práce, jako „ochranné prostředky, které musí chránit zaměstnance před riziky, nesmí ohrožovat jejich zdraví, nesmí bránit při výkonu práce a musí splňovat požadavky stanovené právním předpisem NV č. 21/2003 Sb.“ [20].

NV č. 23/2003 Sb. Stanovující technické požadavky na osobní ochranné prostředky (OOP) má širší působnost, jelikož nezahrnuje pouze OOPP, ale osobní ochranné pomůcky jako takové. Za OOP se podle tohoto NV považuje:

- „každé zařízení nebo prostředek určený k nošení nebo držení jednotlivcem pro ochranu před jedním nebo více zdravotními a bezpečnostními riziky.
- Technická sestava tvořená několika výrobcem nedílně spojenými zařízeními nebo prostředky pro ochranu jednotlivce proti jednomu nebo více potencionálně současně působícím rizikům.
- ochranné zařízení nebo prostředek spojený oddělitelně nebo neoddělitelně s osobní výstrojí bez bezpečnostního účinku, nošenou nebo drženou jednotlivcem při provádění určité činnosti.

- *vyměnitelná součástka osobního ochranného prostředku, která je nezbytná pro jeho bezchybnou funkci a je použita výhradně pro tento prostředek.*“ (§1, odst. (2) NV č. 21/2003 Sb.) [20,21].

„Jakýkoli systém uváděný na trh společně s osobním ochranným prostředkem určený pro připojení k jinému vnějšímu doplňkovému zařízení je považován za nedílnou součást tohoto prostředku, a to i tehdy, jestliže tento systém není určen pro stálé nošení nebo držení uživatelem po celou dobu, kdy je vystaven riziku.“ (§1 (3) NV č. 21/2003 Sb.) [20].

Prevenzi rizika je definována jako *„prevencí rizik se rozumí všechna opatření vyplývající z právních a ostatních předpisů k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a z opatření zaměstnavatele, která mají za cíl předcházet rizikům, odstraňovat je nebo minimalizovat působení neodstranitelných rizik.“ (Zákoník práce §132a) [20]*

2.3.1. Rozdělení osobních ochranných pomůcek

Osobní ochranné pomůcky (OOP) zahrnují širokou škálu výrobků, které chrání před různými riziky. OOP se rozděluje do kategorií právě podle toho, před jakými riziky jsou schopny člověka ochránit. Na každou kategorii jsou vystaveny jiné požadavky, jelikož není možné, aby na filtry chránící člověka před toxickými plyny, které ohrožují jeho zdraví byly kladeny stejné požadavky jako na zahradnické rukavice, které samozřejmě mezi OOP také patří. OOP jsou do tří kategorií zařazeny podle míry možného nebezpečí spojeného s používáním. Nařízení vlády však přesněji definuje pouze dvě kategorie:

- 1) Osobní ochranné prostředky jednoduché konstrukce, u nichž může výrobce či dovozce předpokládat, že sám uživatel je schopen posoudit míru ochrany před rizikem – uživatel je tedy včas a bezpečně rozpozná. Tato první kategorie zahrnuje např. OOP chránící před povrchovým mechanickým působením (zahradnické rukavice) či OOP chránící před slunečním zářením (sluneční brýle) apod.
- 2) Do třetí kategorie se řadí OOP, které jsou určeny k ochraně života či k ochraně proti rizikům, která mohou vážně a trvale poškodit zdraví, a u kterých výrobce či dovozce předpokládá, že tato nebezpečí není uživatel sám rozpoznat včas. Patří zde např. OOP k ochraně dýchacích orgánů, ochrana proti teplotám nad 100 °C nebo OOP na ochranu proti pádu apod.

OOP, které nevyhovují kritériím ani jedné z výše uvedených kategorií se řadí do druhé kategorie [20].

Osobní ochranné pracovní pomůcky lze se také dělit podle svého účelu, tedy podle toho, co ochraňují. Každé z těchto OOPP se týká jiná česká norma, která je obdobou normy evropské.

- OOPP pro ochranu celého těla – jedná se o OOPP (ochranné oděvy) určené k ochraně celého těla, a to před účinky mechanických, chemických či biologických rizik. Dále se zde také řadí oděvy chránící před působením tepla, žáru, ohně, chladu, vody, záření, nebo před stykem s roztaveným kovem. Do této skupiny OOPP se řadí také prostředky pro prevenci pádů, prachotěsné a plynotěsné oděvy a také oděvy a doplňky s vysokou viditelností z reflexních a fluorescenčních materiálů [22].
- OOPP pro ochranu trupu a břicha – jedná se o OOPP určené k ochraně trupu a břicha před účinky mechanických, chemických či biologických rizik. Zde patří např. vesty, kabáty, zástěry, bederní pásy apod. Do této skupiny se taky zařazují OOPP před utonutím, působením tepla, chladu, záření apod, jak tomu bylo také v předchozí skupině [22].
- OOPP pro ochranu rukou a paží – jedná se o OOPP určené k ochraně rukou a paží před účinky mechanických, chemických či biologických rizik, před působením tepla, plamene, chladu, vlhka, záření, vibrací, či elektrického napětí. Do této skupiny patří např. různé typy rukavic [22].
- OOPP pro ochranu očí a obličeje – jedná se o OOPP určené k ochraně očí a obličeje proti nárazům různé síly, optickému záření, roztaveným kovům a horkým pevným tělesům, kapkám, postříku, prachu, plynům nebo proti kombinaci těchto možností. Zde lze zařadit např. ochranné brýle různého typu, obličejové štíty apod [22].
- OOPP pro ochranu nohou – jedná se o OOPP určené k ochraně dolních končetin před účinky mechanických, chemických nebo biologických rizik, působením tepla, chladu, vlhka nebo vibrací. Zde patří různá pracovní obuv [22].
- OOPP pro ochranu hlavy – jedná se o OOPP určené k ochraně lebky před úrazy způsobenými padajícími předměty, nárazy hlavou do tvrdých předmětů, k ochraně před skalpováním a pro ochranu hlavy proti účinkům chladu, tepla, plamene, záření nebo povětrnostním vlivům. Do této skupiny lze zařadit ochranné přilby, kukly či různé pokrývky hlavy [22].

- OOPP pro ochranu sluchu – jedná se o OOPP určené pro ochranu sluchového ústrojí člověka před nežádoucími účinky zvuku, jemuž je pracovník vystaven během práce. K těmto OOPP patří např. sluchátka různého typu [22].
- OOPP pro ochranu dýchacích orgánů – jedná se o OOPP určené k ochraně dýchacích orgánů člověka proti pronikání škodlivin z pracovního ovzduší nebo OOPP zajišťující pracovníkovi přívod dýchatelného vzduchu/kyslíku. Do této skupiny se řadí izolační dýchací přístroje s přívodem vzduchu, svářečské kukly, potápěčské dýchací přístroje a vybavení, masky a polomasky s filtry apod [22].

2.4. Respirační ochranné prostředky

Při některých pracovních činnostech se člověk může dostat do styku s látkou kontaminující ovzduší. Kontaminující látky mohou vznikat ve formě prachu, mlhy, páry, plynu či dýmu. Ovzduší může být kontaminováno prachem např. při svařování, manipulaci s prášky, řezání či broušení různých materiálů, jako je kámen nebo dřevo. Dýmy a páry různých původů se často vyskytují v případě požárů, mohou však také vznikat v laboratořích. K poškození lidského zdraví však nemusí dojít pouze kvůli přítomnosti škodlivých či toxických látek v ovzduší, ale také v případě nedostatečného množství kyslíku. K situacím, kdy je v ovzduší málo kyslíku, dochází např. ve stísněných prostorách, jako jsou štoly, šachty, příkopy apod. [20, 23]. Respirační ochranné prostředky (ROP) jsou podskupinou osobních ochranných prostředků, jak již bylo zmíněno výše, a proto by jejich použití mělo být až krajní možností ochrany.

Použití ROP by mělo být pečlivě zváženo a měla by mu předcházet podrobná situační analýza, která bere v úvahu všechny faktory, které mohou negativně ovlivňovat lidské zdraví, nebo jej dokonce ohrožovat. Mezi těmito parametry se posuzuje koncentrace kyslíku v ovzduší, druh, koncentrace a vlastnosti škodlivin v ovzduší, druh a typ vhodného ochranného prostředku apod. Počet posuzovaných parametrů je vysoký, z čehož lze posuzovat složitost postupu při zjišťování ochrany dýchacích orgánů. Z tohoto důvodu jsou OOP sloužící k ochraně dýchacích orgánů rozděleny dle ČSN EN 133 do dvou základních skupin s ohledem na jejich ochrannou funkci. První skupinou jsou izolační dýchací přístroje a druhou skupinou jsou filtrační dýchací přístroje. Kategorizuje se také zvláštní skupina dýchacích přístrojů, mezi které patří sebezáchranné a únikové dýchací přístroje, které však nesmí být při pracovních činnostech používány [20].

Oblast ochrany dýchacích orgánů zahrnuje termíny, které jsou v této problematice používány. Tyto termíny vycházejí z normy ČSN EN 132 a patří zde např.:

aerosol – rozptýlené pevné či kapalné částice nebo jejich směs v plynném prostředí; částice mají zanedbatelnou rychlost pádu (nižší než 0,25 m/s) a jejich velikost je v rozmezí 10 – 100 µm;

částice – pevná nebo kapalná látka v jemně rozptýleném stavu, tento termín nahradil dříve používaný nepřiliš specifický pojem „prach“;

lícnicová část – čisti, které slouží bezprostředně k příchodu vzduchu či jiné dýchací směsi do úst uživatele, lícnicová část může být vyrobená z filtračního materiálu, poté se jedná o „filtrační lícnicovou část“

čtvrtmaska – lícnicová část zakrývající ústa a nos, dříve se tento prostředek nazýval „respirátor“;

dýchací odpor – odpor ochranného prostředku dýchacích orgánů proudícími vzduchu při vdechování a vydechování;

dým – jemný pevný aerosol vytvořený chemicky nebo procházející z kovů, vzniká také při svážení kovů a tvoří jej především oxidy kovů;

filtr – zařízení zachycující z procházejícího vzduchu specifické škodliviny;

filtr proti částicím – filtr zachycující částice přítomné v ovzduší, tento termín byl dříve označován jako protiprašný filtr;

filtrační dýchací přístroj – zařízení filtrující vdechovaný vzduch, za řízení je buď s nuceným nebo nenuceným přívodem vzduchu;

izolační dýchací přístroj – přístroj umožňující uživateli dýchat nezávisle na okolním ovzduší;

kombinovaný filtr – filtr zachycující částice pevné, kapalné, jejich směs nebo některé plyny a páry;

kouř – aerosol vznikající nedokonalým spalováním organických látek (obecný název);

mlha – aerosol z kapalných částic (obecný název);

NPK-P – nejvyšší přípustné koncentrace chemických látek v pracovním prostředí jakou koncentrace látek, kterým nesmí zaměstnanec být vystaven v žádném časovém úseku směny;

obličejová maska – lícnicová část zakrývající ústa, nos, oči a bradu;

pára – plynná fáze kapalné nebo pevné látky při teplotě 20 °C a tlaku 0,1 MPa;

polomaska – lícnicová zakrývající ústa, nos a bradu, dříve také známo jako „respirátor“;

prach – pevné částice v obecném smyslu

protiptynový filtr – filtr zachycující určené plyny a páry;

vzduch k dýchání – vzduch splňující podmínky ČSN EN 132 a ČSN EN 12021, podle ČSN EN 12021 musí být obsah kyslík v rozmezí (21 ± 1) obj. %;

vzduch s nedostatkem kyslíku – vzduch obsahující méně než 17 obj. % kyslíku [20].

2.4.1. Polomaska a čtvrtmaska

Požadavky kladené na polomasky a čtvrtmasky upravuje ČSN EN 140, a to tak, že pokud se nejedná o polomasku či čtvrtmasku kompaktní, musí jednotlivé části být vyměnitelné. Dále jsou součástí uvedené normy postupy zkoušek, které jsou u těchto ROP prováděny. Tyto ROP se podrobují teplotní zkoušce trvající 24 hodin v suchém ovzduší o teplotě $(70 \pm 3) ^\circ\text{C}$ a teplotní zkoušce trvající 24 hodin v ovzduší o teplotě $(-30 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Po těchto zkouškách nesmí ROP vykazovat žádnou změnu tvaru a musí si zachovat svou těsnost, přičemž průnik lícnicové části nesmí být více než 2 %. Speciální požadavky jsou také kladeny na materiál, ze kterých se tyto ROP vyrábějí, konkrétně tedy materiál nesmí snadno hořet. Hořlavost se zkouší při teplotě $(850 \pm 50) ^\circ\text{C}$. Požadavky jsou také kladeny na vdechovací ventily těchto ROP, a to takové, že ventil musí být funkční při konstantním vydechovacím proudu 300 l/min po dobu 30 s. Hodnotu 200 Pa nesmí při vydechování přesáhnout dýchací odpor při nepřetržitém průtoku vzduchu o hodnotě 160 l/min. Vydechovací odpor nesmí překročit 50 Pa při nepřetržitém průtoku 30 l/min a hodnotu 130 Pa při průtoku 95 l/min [20].

Respirační ochranné prostředky se obecně dělí do dvou skupin, do první skupiny patří ROP, které vzduch čistí a do druhé skupiny patří dýchací přístroje s vlastním zdrojem vzduchu. ROP schopné vzduch čistit jsou známy pod zkratkou APRs (z ang. *Air Purifying Respirators*) a dokáží odstraňovat kontaminanty ze vzduchu, který pracovník dýchá tím, že ve filtru zachycují rozptýlený kontaminant, jako jsou částičky kovu, výpary atd. Jiný typ APRs funguje na principu sorpce, tedy vzduch procházející APRs je čištěn sorbentem, který nebezpečné složky ze vzduchu naváže chemicky a odloučí do příslušného zásobníku. Mezi APRs patří částicové masky, masky s chemickou kapslí (mohou obsahovat kombinaci chemického filtru s klasickým mechanickým filtrem, což zajišťuje ochranu proti různým druhům škodlivin) a plynové masky. ROP s vlastním zdrojem vzduchu se označují jako SARs (z ang. *Supplied Air Respirators*) a dodávají člověku přívodem čistý vzduch z nádoby, kde je stačen. Tento vzduch nepochází z pracovního prostoru, kde se daný jedinec nachází a musí splňovat příslušné požadavky na čistotu a vlhkost. Mezi SARs patří např. dýchací přístroje s vlastním zásobníkem vzduchu či ochranný oblek izolující tělo pracovníka od okolí [24].

2.4.2. Filtrační dýchací přístroje

Ochrana dýchacích orgánů filtračními přístroji je založena na principu, že vzduch je před vstupem do plic zbaven vhodným filtrem škodlivin nacházejících se v ovzduší. Škodliviny mohou být pevné, kapalné či plynné formy či jejich směsi. Filtry mohou být proti částicím, plynům nebo proti částicím i plynům. Filtrační dýchací přístroje mají svá omezení pouze na prostředí, kde je koncentrace kyslíků vyšší než 17 obj. %, znám typ a koncentrace škodliviny a v neposlední řadě také tam, kde je k dispozici prostředek, který je vůči dané škodlivině účinný [20, 23]. Filtrační dýchací přístroje mohou být jednorázové, ty se označují písmeny NR nebo vícekrát použitelné, v takovém případě jsou označeny jako R [19].

V České republice jsou požadavky na filtry proti částicím používáné ve filtračních dýchacích přístrojích ukotveny v ČSN EN 143 [20], což je obdoba EN 149:2001 [19] a jsou rozděleny do třech tříd: P1, P2 a P3. Filtry P1 jsou určeny pouze proti pevným částicím, P2 a P3 se od sebe liší podle schopnosti odstraňovat buď pevné a kapalné částice nebo jen pevné částice. Podle třídy je rozmezí dýchacích odporů při průtoku 30 l/min mezi 60 a 120 Pa, při průtoku 95 l/min poté se dýchací odpory pohybují od 210 do 420 Pa. Hodnoty maximálních počátečních průniků zkušebních aerosolů jsou uvedeny v Tabulce 2 [20].

Tabulka 2: Maximální průniky zkušebních aerosolů filtry proti částicím. Upraveno dle [20].

	aerosol NaCl	aerosol parafrinového oleje
P1	20 %	-
P2	6 %	2 %
P3	0,05 %	0,01 %

Pokud není filtr zkoušen parafrinovými oleji, musí být označen větou „*Pouze pro použití proti pevným aerosolům*“ Podle normy musí být filtr snadno vyměnitelný a jeho hmotnost k polomasce smí být max. 300 g a k obličejové masce max. 500 g [20].

Filtry protiplynové a kombinované také podléhají v České republice požadavkům, které jsou stanoveny ČSN EN 141, ČSN EN 371, ČSN EN 372 a případně ČSN EN 143 [20], v evropském měřítku jsou tyto požadavky dány EN 14387: 2004 + A1: 2008 a EN 143:2001 [19]. České normy určují požadavky tak, že je-li protiplynový filtr kombinován s filtrem proti částicím, musí tento kombinovaný filtr vyhovět požadavkům na účinnost proti částicím, jak je tomu v ČSN EN 143. Stejně jako v případě filtrů proti částicím i zde platí, že musí být filtr snadno vyměnitelný, jeho hmotnost musí být v případě polomasek max. 300 g a u

obličejových masek max. 500 g. Hodnoty dýchacích odporů se poté liší v případech jednotlivých filtrů.

Protiplýnový filtr je určen k odstraňování pouze některých plynů a par z ovzduší, odstraňuje také jemné pevné nebo kapalně částice. Mechanismy, které protiplýnové filtry k odstranění plynů a par využívají, jsou absorpce, adsorpce, chemické reakce, katalýzy nebo jejich kombinace. Tyto filtry odstraňují pouze omezené množství plynů nebo par a musí být označeny, k jakému typu škodliviny jsou určeny. Aby byla ochrana pracovníka maximální, nesní koncentrace škodliviny v ovzduší překročit kapacitu daného filtru. Životnost protiplýnových filtrů závisí na sorpční kapacitě sorbentu, koncentraci škodliviny, vlhkosti a teplotě vzduchu a na hloubce a rychlosti dechu dotyčného. Pokud je škodlivina v určité koncentraci rozeznatelná čichem a uživatel ji při vdechování zaznamená, je nutná okamžitá výměna filtru, jelikož došlo k překročení sorpční kapacity [20].

Protiplýnové a kombinované filtry jsou rozdělovány na typy a třídy podle svých účelů. Rozdělení dle typu a označení používaných filtru je uvedeno v Tabulce 3 [20, 25].

Tabulka 3: Typy používaných filtrů. Upraveno dle [20, 25].

typ	určení	označení	
A	organické plyny a páry s bodem varu nad 65 °C	hnědá	
AX	organické plyny a páry s bodem varu do 65 °C	hnědá	
B	anorganické plyny a páry (krom CO)	šedá	
E	plyn SO ₂ a jiné kyselé plyny a páry	žlutá	
K	amoniak a organické deriváty amoniaku	zelená	
Hg-P3	rtuť	červená	bílá
NO-P3	oxidy dusíku	modrá	bílá
P	částice	bílá	

Podle své sorpční kapacity jsou filtry rozděleny do tříd, jak je uvedeno v Tabulce 4.

Tabulka 4: Rozdělení filtrů do tříd [20, 25].

třída	filtr
1	s malou sorpční kapacitou
2	Se střední sorpční kapacitou
3	S velkou sorpční kapacitou

Aby bylo možné použít správný filtr, je nutno znát údaje o dané škodlivině, a to její typ a koncentraci, dále je také nutné znát spotřebu vzduchu při dýchání a koncentraci kyslíku v ovzduší (musí být vyšší než 17 obj. %). Údaje o škodlivině jsou měřeny akreditovanou laboratoří, výzkumnými ústavu apod. Množství spotřebovaného vzduchu při středně těžké práci je cca 30 l/min [20].

Z filtračního materiálu je možno vyrobit také celé polomasky a čtvrtmasky či jejich velkou část. Požadavky na filtrační polomasky určuje ČSN EN 149 a určuje, že v případě polomasky typu FFP1 nesmí být netěsnost větší než 25 %, v případě typu FFP2 větší než 11 % a u typu FFP3 větší než 5 %. Netěsnost je způsobená podsáváním těsnící linie lícnicové části, podsáváním vydechovacího ventilu a průnikem filtru [20]. Tabulka 5 ukazuje požadavky, kterým musí průniky daných typu filtrů odpovídat.

Tabulka 5: Požadavky na průnik filtračním materiálem [20].

typ/třída	počáteční průnik zkušebního materiálu	
	aerosol NaCl 95 l/min [% max]	parafrinový olej 95 l/min [% max]
FFP1	20	20
FFP2	6	6
FFP3	1	1

Polomasky se také testují pro získání hodnot dýchacích odporů při různých frekvencích dýchání, polomasky třídy FFP3 musí zvládat vyšší hodnoty dýchacího odporu v porovnání s polomaskami tříd FFP1 a FFP2. Filtry se také zanášejí prachem, což se provádí pomocí dolomitového prachu [20].

Filtrační polomasky proti plynům a částicím mají své požadavky ukotveny v ČSN EN 405 [20], což je česká obdoba EN 405:2001 [23], u těchto ochranných pomůcek musí být netěsnost do 2 %. Stejně jako v případě polomasek proti plynům jsou i zde kladeny požadavky na počáteční průnik zkušební aerosolu filtrem, požadavky jsou uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 6: Požadavky na průnik filtračním materiálem [20].

třída/typ	maximální počáteční průnik zkušební aerosolu při 95 l/min	
	zkouška NaCl [%]	zkouška parafrinovým olejem [%]
FFplynP1	20	-
FFplynP2	6	2
FFplynP3	3	1

2.5. Současný stav výzkumu

Účinnost osobních ochranných prostředků je jeden z nejdůležitějších parametrů, podle kterých jsou jednotlivé OOP vybírány pro další účely. Obecně platí, že nejvyšší možná účinnost OOP je zajištěna pouze v případě, že je prostředek použit správně dle předpisů. Konkrétně v případě respiračních ochranných prostředků je nutno zajistit těsnost prostředku s obličejem. Každý obličej má jiné tvary, a proto je nutné vybírat ROP individuálně. Maximální účinnost je zajištěna pouze, je-li kůže hladká, to znamená, že pokud má dotyčný na tváři vousy či vlasy, automaticky vzniká netěsnost mezi ROP a kůží, čímž se účinnost ochranného prostředku snižuje. Účinnost respiračních ochranných prostředků se také stala předmětem mnoha studií.

Velkou pozornost vědců přitahují svářeči, kteří jsou při vykonávání své práce vystaveni mnoha kovovým částicím, ty tvoří tzv. svařovací dým. Mnoho kovů, které tento dým tvoří je pro lidský organismus toxických, a proto je nutné při svařování docílit bezpečných podmínek, aby bylo vystavení pracovníků těmto kovům co nejvíce zmírněno. Bylo pozorováno, že mnoho svářečů časem trpí různými respiračními onemocněními, jako je např. bronchitida, podráždění dýchacích cest, funkční změna plic či zvýšené riziko rakoviny plic [26]. Cho a kol. (2011) provedli studii, ve které se zaměřili na porovnání účinnosti respirátorů při použití svařovacího dýmu a NaCl, který se k testování účinnosti respirátorů běžně používá. Pro danou studii bylo vybráno patnáct různých, komerčně dostupných filtrů a respirátorů. Mezi vybranými respirátory a filtry bylo sedm obličejových filtračních respirátorů, šest z nich bylo třídy 95 (schváleno NIOSH – národní institut pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci) s různou úrovní odolnosti vůči olejové mlze (N – není rezistentní, R – rezistentní vůči olejům a P – odolný vůči olejům), zbývající respirátor byl FFP2 (schválen dle evropských standardů). Všechny uvedené respirátory byly vybaveny výdechovým ventilem. Dále bylo vybráno osm filtrů, které jsou používány se samostatnou maskou. Některé z uvedených ochranných pomůcek obsahovaly uhlík, který má pomáhat snížit expozici daným plynem. Ve studii byly všechny respirátory a filtry testovány na penetraci a pokles tlaku se dvěma typy aerosolu. Prvním aerosolem byl svařovací dým generovaný tavným obloukovým svařováním jemného ocelového drátku na měkkém ocelovém kovu, druhým aerosolem byl poté NaCl. Právě NaCl byl vybrán, protože se běžně používá v mnoha normách pro certifikaci respirátorů, k hodnocení účinnosti filtrů vůči pevným částicím. Pro zkoušku účinnosti NaCl byl použit přístroj TSI 8130 AFT, tento přístroj je běžně používán pro certifikaci respirátorů nejen v USA, ale také v jiných zemích a dokáže měřit tlakové ztráty až do 1500 Pa a penetraci až 0,001 %, Přístroj TSI používá

k měření penetrace částic dva aerosolové fotometry, jeden je umístěn před a druhý za filtrem. Výstupní signály fotometru jsou poté úměrné hmotnosti aerosolu a používají se pro výpočet penetrace filtru. Pro provedení testu byl připraven 2% roztok NaCl s destilovanou vodou tak, aby se dosáhlo aerosolu s částicemi velkými 75 ± 20 nm. Na respirátory a osamoceně filtry byl použit průtok 85 l/min a na duální filtry průtok 42,5 l/min. Průnik a pokles tlaku byl poté během celého testu zaznamenáván v intervalu 1 minuty. V případě svařovacího dýmu byly simulovány pracovní podmínky (teplota 23 °C a relativní vlhkost 20 %), interval svařování byl v cyklu 3 sekundy svařování a 60 sekund klid, což vedlo k průměrné koncentraci dýmu 86 mg/m³. Pro měření penetrace filtru a poklesu tlaku byly současně použity testery účinnosti respirátorového filtru (SIBATA, AP-634A, Japonsko) a manometr (OKANO, DMP-202N, Japonsko). V případě osamoceného filtru byl aplikován průtok 85 l/min a 42,5 l/min v případě duálního filtru, tedy stejně jako v případě roztoku NaCl. Stejně jako v případě přístroje TSI má Sibata fotometry pro měření průniku filtrem. Výsledky provedených testů ukázaly, že průměrná velikost aerosolu NaCl byla 74 nm, což odpovídá testům NIOSH velmi těsně. V případě svařovacího dýmu byla průměrná velikost částic 216 nm. Všechny testované respirátory a filtry splnily hodnoty dané certifikací, což znamená, že v případě průniku NaCl zachytily více než 95 % částic aerosolu, v případě svařovacího dýmu bylo poté toto množství ještě vyšší [27]. Studie tedy prokázala, že respirátory a filtry jsou při svařování velmi účinné a mohou tak svářeče při práci dobře ochránit.

Další profesí, kde jsou pracovníci vystaveni velkému množství prachu, jsou horníci. Právě účinnost respiračních ochranných pomůcek při těžbě uhlí v polských dolech je předmětem další studie, kterou provedla Więckol-Ryk a kol. (2018). Dlouhodobé vystavování prachu z uhelných dolů je příčinou různých plicních chorob. Důlní prach, kterému jsou pracovníci vystavováni, obsahuje krystalický křemík, který představuje riziko pro vznik plicního onemocnění s názvem silikóza (pneumokonióza). Dále důlní prach také obsahuje anorganické minerál a stopové kovy, jako je bor, kadmium, měď, nikl, železo, antimon či olovo. Pracovníci dolů používají OOP, jako např. dýchací přístroj či jednorázové respirátory třídy FFP2 nebo FFP3. Použití respirátorů při práci ovšem horníkům ztěžuje dýchání, jelikož podmínky v dolech jsou extrémní, teploty přesahují 30 °C a vlhkost vzduchu 90 %. Právě tyto parametry zvyšují dýchací odpor respirátorů. Průzkum studie byl proveden mezi 150 respondenty z osmi černouhelných dolů, kteří zastupovali tři skupiny horníků. První skupinou byli horníci přímo manipulující s materiálem, druhou skupinkou byli pracovníci zabývající se přepravou materiálu a poslední skupinou byly důlní technici.

Věkové rozmezí respondentů bylo 21 až 50 let. Většina z pracovníků spadala do první skupiny. Respirátory při práci využívali pouze pracovníci z první a druhé skupiny. Laboratorního výzkumu se však zúčastnili pouze pracovníci ze dvou černouhelných dolů (ozn. CM1 a CM2). Parametry důlní atmosféry se v obou dolech výrazně lišily, atmosféra CM1 byla charakterizována vyšší vlhkostí vzduchu než CM2, proto byla jeho prašnost nižší. Průměrná teplota dosahovala v CM1 21,3 °C a v CM2 27 °C, vlhkost vzduchu byla průměrně 93 % v případě CM1 a 86,6 % v CM2. Hodnoty koncentrace inkasovatelného prachu byly průměrně 17,1 mg/m³ v CM1 a 25, 4 mg/m³ v CM2, průměrné hodnoty koncentrace dýchatelného prachu byly poté 6,2 mg/m³ pro CM1 a 9.4 mg/m³ pro CM2. Cílem studie bylo zjistit obsah vlhkosti a důlního prachu (g) na povrchu respirátorů měřením změny hmotnosti gravimetrickou analytickou metodou. Každý respirátor byl před a po použití v dole zvážen na analytických vahách, poté byly respirátory vloženy do sušárny a byly tam ponechány po dobu jedné hodiny při 105 °C, čímž došlo k odstranění absorbované vlhkosti. Po vysušení byly respirátory opět zváženy, aby se stanovila konečná hmotnost důlního prachu. Výsledky laboratorního výzkumu ukázaly, že hmotnost důlního prachu pro CM1 i CM2 byla srovnatelná, konkrétně tedy 1,34 g u CM1 a 1,44 g u CM2. V případě absorbované vlhkosti je vyšší hodnota v případě CM1, což je v souladu s uvedenými hodnotami vlhkosti v dole. Množství usazeného uhelného prachu však oproti absorbované vlhkosti na parametrech v dole nezáviselo. Testovány byly také dýchací odpory respirátorů, a to při průtoku 30 l/min, což odpovídá lehké práci a 95 l/min, což odpovídá těžké práci. Bylo zjištěno, že díky vysoké prašnosti a vlhkosti je optimální doba používání respirátorů v dolech výrazně nižší, než je tomu v jiných profesích [28].

Jednou z mála profesí, kde jsou osobní ochranné prostředky běžně používány, je zdravotnictví. Zdravotníci, ať už to lékaři či pomocný zdravotnický personál, jsou exponováni velmi často různým patogenům, jako jsou např. viry či bakterie. Velmi diskutabilní je však účinnost OOP v souvislosti se způsobem jejich použití. Netěsnost mezi respirační ochrannou pomůckou a obličejem je zásadní pro jejich účinnost, netěsnost může být způsobena přítomností vlasů na obličeji či vousů u mužů. Právě problematikou míry netěsnosti mezi obličejem a ROP v závislosti na délce vousů se zabývala studie, kterou provedl Sandaradura a kol. (2020). V uvedené studii byli osloveni dobrovolníci z řad mužů pracujících ve zdravotnictví. Studie se zúčastnilo 105 mužů, přičemž byli kategorizováni do pěti kategorií, právě dle délky vousů. Kategorie 0 – hladké oholení, kategorie 1 – lehké strniště, kategorie 2 – střední až delší strniště, kategorie 3 – plnovous a kategorie 4 – ostatní (např. pouze knír). Při studii bylo použito jednorázových ROP s označením P2/N95, které

jsou běžně v nemocnicích používány a účastníci studie byly zároveň hygieniky proškoleni o správném používání respirátoru. Samotný test poté trval 8 minut a zahrnoval sedm cyklů: normální dýchání, hlukové dýchání, mluvení a pohyby, jako je otáčení hlavou ze strany na stranu, kývání hlavou nahoru a dolů a ohýbání. Míra těsnosti respirátoru na obličeji byla poté vypočtena jako tzv. fit faktor (FF_T), přičemž $FF_T = 100$ je vyžadován pro ROP s označením N95. Hodnota $FF_T > 100$ poté znamená dobrou těsnost respirátoru na obličeji a $FF_T < 100$ špatnou těsnost. Výsledky studie ukázaly, že pouze 34 mužů dosáhlo přiměřeného přizpůsobení ($FF_T > 100$), z toho bylo pouze 18 hladce oholeno. Žádný z mužů z kategorie 3, tedy s plnovousem, nedosáhl hodnoty $FF_T > 100$. Obecně lze říci, že s rostoucí délkou vousů na obličeji roste netěsnost ROP, a tím pádem se jejich účinnost snižuje [29].

Studie, která byla provedena Muellerem a kol. (2018) se zaměřovala na porovnání účinnosti ochranných prostředků dýchacích orgánů z různých materiálů v prostředí s přítomným sopečným popelem. Bylo zde porovnáváno 17 různých druhů respiračních pomůcek (RP). Tato studie měla za cíl porovnat právě účinnost respiračních pomůcek v přítomnosti sopečného popela, jelikož komunita tyto pomůcky během vulkanických krizí nosí. K testu byly použity tři různé prachy, a to popel ze sopek Sakarajima (Japonsko), Soufriere Hills (Montserrat) a oxid hlinitý (Aloxit). Testování bylo provedeno ve dvou koncentracích ($1,5 \text{ mg/m}^3$ a $2,5 \text{ mg/m}^3$) a dvou různých průtocích (40 a 80 l/min). Výsledkem této studie bylo, že vysokou účinnost proti sopečnému popelu s mediánem nad 98 % vykazovaly pouze 4 z celkového počtu 17 posuzovaných RP. Mezi tyto čtyři respirační pomůcky patří dvě jednorázové, průmyslově certifikované masky N95 a N99, které jsou určeny pro použití v prašném prostředí. Další účinnou respirační pomůckou byla chirurgická maska $PM_{2,5}$, i přesto, že tato respirační pomůcka není na obličeji těsně uložena. Tyto masky jsou v Japonsku, odkud také tato testovaná maska pocházela, používány v běžném životě. Poslední respirační pomůckou, které uspěla v této studii, byla plochá jednoduchá maska, kterou Červený kříž distribuoval v Indonésii. Ukázalo se, že všechny typy textilního materiálu (šátky, kapesníky, šály apod) nemají uspokojivou účinnost. Nebyla také prokázána zvýšená účinnost materiálu při jeho navlhčení [30].

Na uvedenou studii navázala Steinle a kol. (2018), kdy ve své studii testovali právě čtyři nejúčinnější respirační pomůcky z předchozí studie. Této studie se již účastnilo 10 dobrovolníků, kdy každý z nich nosil každou RP při činnostech během a po pádu sopečného popela. Každá z těchto aktivit trvala 10 minut a pro každý typ RP byla provedena dvě opakování. Koncentrace prachu ($PM_{2,5}$) byla měřena vně i uvnitř masky dvěma aerosolovými monitory TSI SidePak (modely AM510 a AM520). Výsledek ukázal, že

v obou případech byla opět nejúčinnější průmyslově certifikovaná maska N95. Nejhuře v tomto testu dopadla plochá jednoduchá maska z Indonésie. Masku N95 však byla vnímána jako nejméně pohodlná a dýchání přes ni bylo pro dobrovolníky obtížné [31].

Účinnost ROP však není sledována pouze na lidech, ale ke studiím jsou také využívána zvířata či simulace lidského těla. Například Renström a kol. (2002) provedl studii, jejímž předmětem bylo hodnocení účinnosti ochrany dýchacích cest u hlodavců. Cílem této studie bylo porovnat hodnoty při expozici aeroalergenů, a to pomocí porovnání vzorků nosního vzduchu hlodavců se vzorky vzduchu v okolí a následně tak zhodnotit účinnost používání ochrany dýchacích cest při práci. Účinnost ochrany dýchacích cest (masky P2 a masky s přívodem čerstvého vzduchu) byla studována u dvojice subjektů, přičemž jeden subjekt pracoval s ochranou dýchacích cest a druhý bez, oba subjekty však pracovaly vedle sebe. Výsledky této studie ukázaly, že maska P2 snížila množství inhalovaného alergenu asi o 90 % a velmi malé množství alergenu bylo inhalováno v případě masky s přívodem čerstvého vzduchu [32].

Další cílenou studii zabývající se účinností respiračních ochranných pomůcek provedli Rengasamy a Eimer (2011), kdy k této studii využili právě figurínu, ve smyslu simulace lidského těla. V této studii byla měřena penetrace filtrem a celkový únik částic dovnitř respirační polomaskou N95, N100, P100 a evropsky certifikovanými polomaskami FFP2 a FFP3. Při experimentu byla figurína uzavřena v komoře, do které byly přiváděny monodisperzní sacharózové aerosoly s částicemi 8 – 80 nm generované elektrosprejem nebo polydisperzní NaCl aerosoly s částicemi 20 – 1000 nm vytvořené atomizací. Průnik filtrem byl měřen při frekvenci dýchání 20, 30 a 40 l/min¹. Velikost nejpronikavějších částic byla okolo 50 nm, průnik filtrů se zvyšoval s vyšší rychlostí dýchání. V experimentu se také provedla záměrná netěsnost, čímž se hodnoty celkového průniku dovnitř zvýšily, a to pro všechny velikosti částic a zvyšovaly se dále s rostoucí mírou vytvořené netěsnosti. Studie tedy ukázala, že při přítomné netěsnosti kolem obličeje dochází k nárustu proniklých částic do lidského organismu [33].

3. Experimentální část

3.1. Vzorky

Jako vzorky pro tuto diplomovou práci byly použity lidské sliny. Sliny byly získány od vybraných dobrovolníků z Moravskoslezského kraje. Celkem bylo osloveno 13 dobrovolníků, kteří vykonávali různé profese.

Vzorky slin byly odebírány odplivnutím do odběrné nádoby o objemu 2 ml. Od každého respondenta byly získány celkem čtyři vzorky, které byly označeny písmeny A, B, C a D. Samotný odběr vzorků slin probíhal ve dvou dnech. První den byl respondent bez respirátoru a odběr probíhal před začátkem pracovní doby (Vzorek A) a po ukončení pracovní doby (vzorek B). Druhý odběrový den používal pracovník respirátor, vzorek C byl odebrán před začátkem pracovní doby a vzorek D po ukončení pracovní doby.

Všemi respondenty byl během vykonávání práce použit stejný respirátor typu FFP3, který by měl zajišťovat netěsnosti do 5 %. Respirátor byl od společnosti VWR a odpovídá certifikaci EN 149:2001. Respondenti následně vyplnili přiložený dotazník (Příloha 1).

3.1.1. Příprava vzorků

Získané vzorky slin byly nakápnuté automatickou pipetou Schoeller na mikroskopické sklíčko v objemu 250 μ l. Takto nakápnuté vzorky slin byly ponechány ve flow-boxu, (Schoeller Steril BIOBAN compact, průtoková rychlost 0,4 m/s) aby pozvolna zaschly (Obrázek 9a). Z důvodu dekontaminace pracovního prostoru i vzorků samotných, byl flow-box vysvícen UV lampou půlhodiny před začátkem přípravy vzorků a také během zasychání vzorků. Zaschlé vzorky slin byly naprášeny tenkou vrstvou směsi zlato/palladium v naprašovačce (SC7620 Mini), (Obrázek 9b). Takto nachystané, pokovené vzorky byly připraveny pro analýzu na skenovacím elektronovém mikroskopu (SEM). Pokovení tenkou vrstvou je u nevodivých vzorků pro analýzu na SEM důležité z důvodu zajištění vodivosti samotného vzorku.

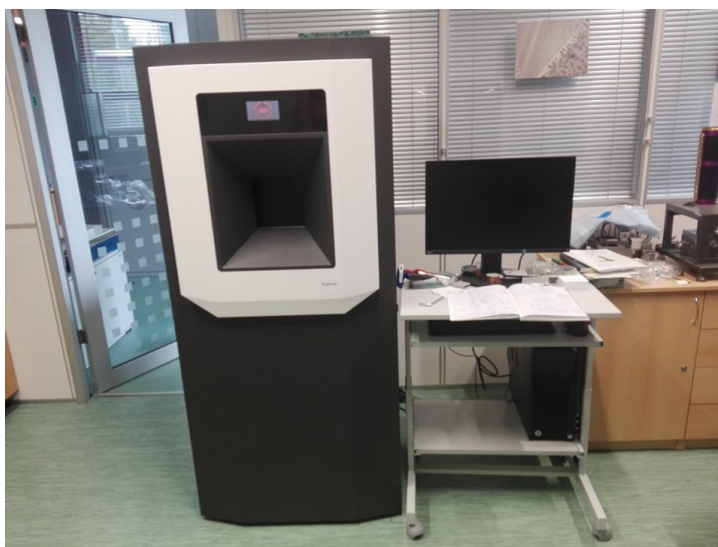


Obrázek 9: a) vzorky slin na mikroskopickém sklíčku; b) použitá naprašovačka SC7620 Mini.

3.2. Metody analýzy

3.2.1. Skenovací elektronová mikroskopie (SEM-EDS)

K hlavní analýze všech vzorků slin byl použit skenovací elektronový mikroskop Explorer 4 analyzer Thermo Fisher (Obrázek 10). Tento skenovací elektronový mikroskop disponuje dvěma detektory, a to SE – detektor sekundárních elektronů a BSE – detektor zpětně odražených elektronů. Přístroj má navíc rentgenový (RTG) detektor na mikroanalýzu vzorků (SEM – EDS). Vzorky byly analyzovány s použitím maximálního urychlovacího napětí 20 keV a velikosti spotu 57,6 %. Byla zkoumána charakterizace morfologie, velikosti a zjištění elementárního složení detekovaných pevných částic, k čemuž sloužil EDS detektor.



Obrázek 10: Použitý skenovací elektronový mikroskop Explorer 4 analyzer Thermo Fisher.

3.2.2. Vibrační magnetometrie

Tato metoda byla použita jako doplňující, pouze pro vybrané vzorky. Jednalo se především o vzorky, ve kterých byly pomocí SEM-EDS detekovány částice s obsahem železa. K měření magnetizačních křivek vzorků byl použit vibrační magnetometr VSM EZ9 MicroSense (VSM) (Obrázek 11), jedná se o často používané zařízení ke stanovení magnetických vlastností mnoha typů materiálů. Princip této metody je založen na tom, že vibrující vzorek umístěn do externího magnetického pole generovaného elektromagnetem indukuje napětí, které je snímáno detekčními cívkami a jehož velikost je přímo úměrná magnetickému momentu m , resp. magnetizaci M daného vzorku. Základní magnetická charakterizace zkoumaného vzorku je tvořena vykreslením magnetického momentu jako funkce magnetického pole.



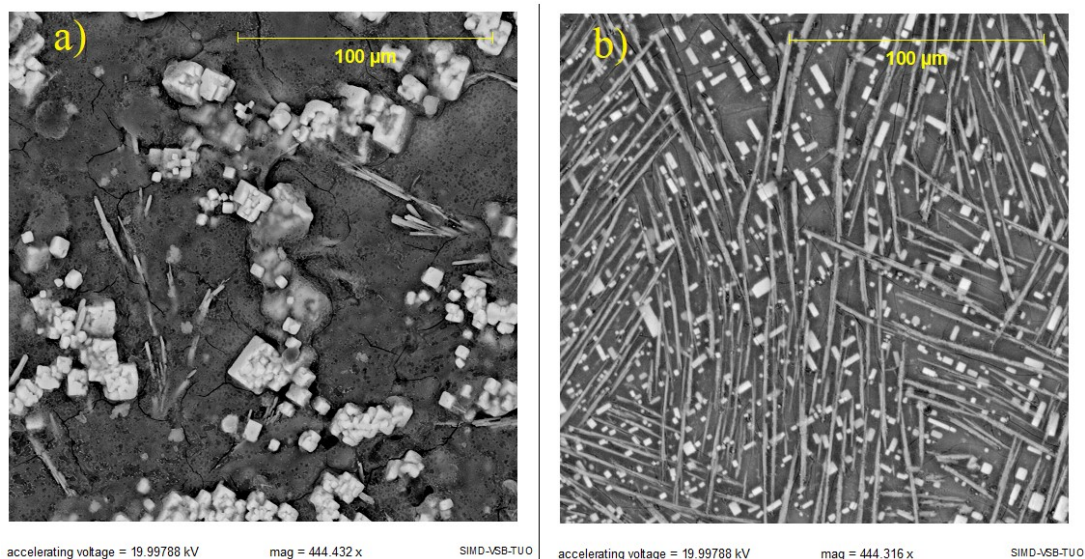
Obrázek 11: Vibrační magnetometr VSM EZ9 MicroSense (VSM).

3.3. Výsledky a diskuze

Všechny připravené vzorky byly analyzovány metodou skenovací elektronové mikroskopie. Jako první byla použita metoda bodové detekce. Jedná se především o kvalitativní analýzu vzorku. Druhou použitou metodou byla metoda v ploše. Díky analýze v ploše je možné získat částečně kvantitativní přehled o obsažených prvcích. Pro přehled o magnetickém charakteru jednotlivých vybraných vzorků bylo také provedeno měření na vibračním magnetometru.

3.3.1. Bodová detekce (SEM-EDS)

Vzorky slin, (A, B, C, D) byly analyzovány po stejný časový úsek, a to konkrétně po dobu 1,5 hodiny. Analyzována „trasa“ byla také vždy stejná, a to po okrajích obvodu celého vzorku, poté byla vedena „trasa“ tvaru kříže (od vrcholu vzorku ke spodnímu okraji a poté z levého okraje k okraji pravému). Tato metodika po okrajích vzorků byla použita z důvodu přítomnosti velkého množství krystalů solí, které se nacházely zejména ve středu vzorků (Obrázek 12), což zapříčinilo nemožnost detekci kovových částic ve středech vzorků.



Obrázek 12: SEM snímek přítomných krystalů solí ve vzorcích, a) vzorek slin specialistky chemické laboratoře po práci bez respirátoru (9B); b) vzorek slin laborantky po práci s respirátorem (10D).

Tabulka 7: Informace o analyzovaných vzorcích (pohlaví, věk, povolání a zda-li je dotýčný kuřák) a chemické složení detekovaných částic bodovou SEM analýzou.

vzorek	pohlaví	věk	povolání	kuřák	bez respirátoru		s respirátorem	
					před	po	před	po
2	muž	55	odjehlovač	ne	Fe, O, C	Fe, O, C, Si	Fe, Mn, O, C	Fe, O, C, Si
4	muž	46	zámečník	ne	Fe, O, Si	Fe, O		
5	muž	52	horník	ano	Al, Fe, O, C	Fe, O, C		
6	muž	31	svářeč	ano		Fe, O, C, Si	Ti, O, C	Fe, O, C
7	muž	25	technik	ne		Ti, O		
8	muž	35	technický laborant	ano		Cu, Fe, O, Si	Cu, Fe, Ni, O	Ni, O, Si
9	žena	27	specialista chem. lab.	ne			Fe, O, C	
10	žena	46	laborantka	ne				Ni, O, C
11	žena	36	restaurátorka	ne	Fe, O			Cu, Fe, Ni, O, Si
22	žena	31	restaurátorka	ne				Fe, O
I	žena	32	obchodní zástupce	ne		Fe, O	Fe, O, Si	Fe, O
II	muž	37	pedagog	ne			Ag, O, Si	
V.A	muž	29	obráběč kovů	ne			Fe, O, C	

Z Tabulky 7 je patrné, že v každém vzorku byla detekovaná alespoň jedna částice na bázi kovu. Ve slinách před a po pracovní době bez použití respirátoru, ale také před a po pracovní době s jeho použitím. Také je možné pozorovat, že nejčastěji detekovaným kovem

bylo železo, které se vyskytovalo u deseti respondentů z celkového souboru třinácti. Druhým, nejčastěji zastoupeným kovem byl nikl, který byl detekován ve čtyřech vzorcích u tří respondentů. U stejného počtu respondentů byly detekované také částice na bázi mědi. Částice na bázi titanu byly detekovány u dvou respondentů a v ojedinělých případech byly detekovány také částice na bázi hliníku, stříbra či manganu. V některých vzorcích byl také detekován křemík, který s největší pravděpodobností pocházel z podložního sklíčka. U detekovaných částic s majoritním obsahem železa byl současně zjištěn kyslík (Tabulka 7). Jedná se pravděpodobně o kovy ve formě oxidů. Obecně kovové částice, především jejich oxidy, mohou poškodit živý organismus, a to procesem zahrnujícím oxidační stres a proinflamační reakci. Oxidační stres je způsoben reaktivními formami kyslíku, tzv. ROS, které mohou vzniknout toxicitou kovů [34]. Tyto radikály nejčastěji ovlivňují a poškozují proteiny, DNA a tuky obsahující polynenasycené mastné kyseliny [35], ale také se podílejí na vzniku a rozvoji různých nemocí, nebo fyziologickém stárnutí organismu. ROS jsou molekuly, atomy nebo ionty s jedním nebo s více nepárovými elektrony ve valenční sféře. Mají vysokou chemickou reaktivitu a spouští řetězové reakce, při kterých jeden radikál vytváří další. Mezi ROS patří volné radikály vzniklé z molekuly kyslíku (superoxid O_2^{\bullet} , hydroxylový radikál HO^{\bullet} , peroxy ROO^{\bullet} , alkoxy RO^{\bullet} , hydroperoxy HO_2^{\bullet}) obsahující nepárový elektron. Také zde patří sloučeniny kyslíku, ze kterých radikály mohou vznikat (peroxyd vodíku H_2O_2 , ozon O_3 , kyselina chlorná $HClO$). Reaktivní formy kyslíku mohou vznikat např. oxidací, při které dochází ke ztrátě elektronu, redukcí, při které se elektron získá nebo homolytickým štěpením kovalentní vazby, při kterém je nutno dodat velké množství energie. V organismu ROS vznikají dvěma způsoby, a to při neenzymových a enzymových reakcích. Volné kyslíkové radikály iniciují mnohé biochemické reakce a ovlivňují jejich rychlost a směr. V těle mají volné radikály také škodlivý účinek, mohou totiž působit proti vlastním tkáním tím, že poškodí různé struktury na subcelulární i celulární úrovni, důsledkem jsou poruchy v organismu [35]. Tuto skutečnost mohou částečně potvrdit studie, ve kterých již bylo zjištěno, že existuje určitá souvislost mezi přítomností částic s obsahem železa v lidském organismu a některými nemocemi. Příkladem může být detekce submikronových částic na bázi železa v plicních nádorech [36], nebo také detekce Fe_3O_4 v mozkové tkáni postižené neurodegenerativními změnami [37,38].

Významnou roli ve vlivu na živý organismus hraje také velikost přítomných částic. Ze studie, kterou provedl Meng a kol. (2007) vyplývá, že velikost částic mědi hraje významnou roli v případě možného negativního působení na živý organismus. Ve studii autoři prokázali,

že částice mědi o velikosti 23,5 nm jsou daleko toxičtější než částice mědi o velikosti 17 μm [46].

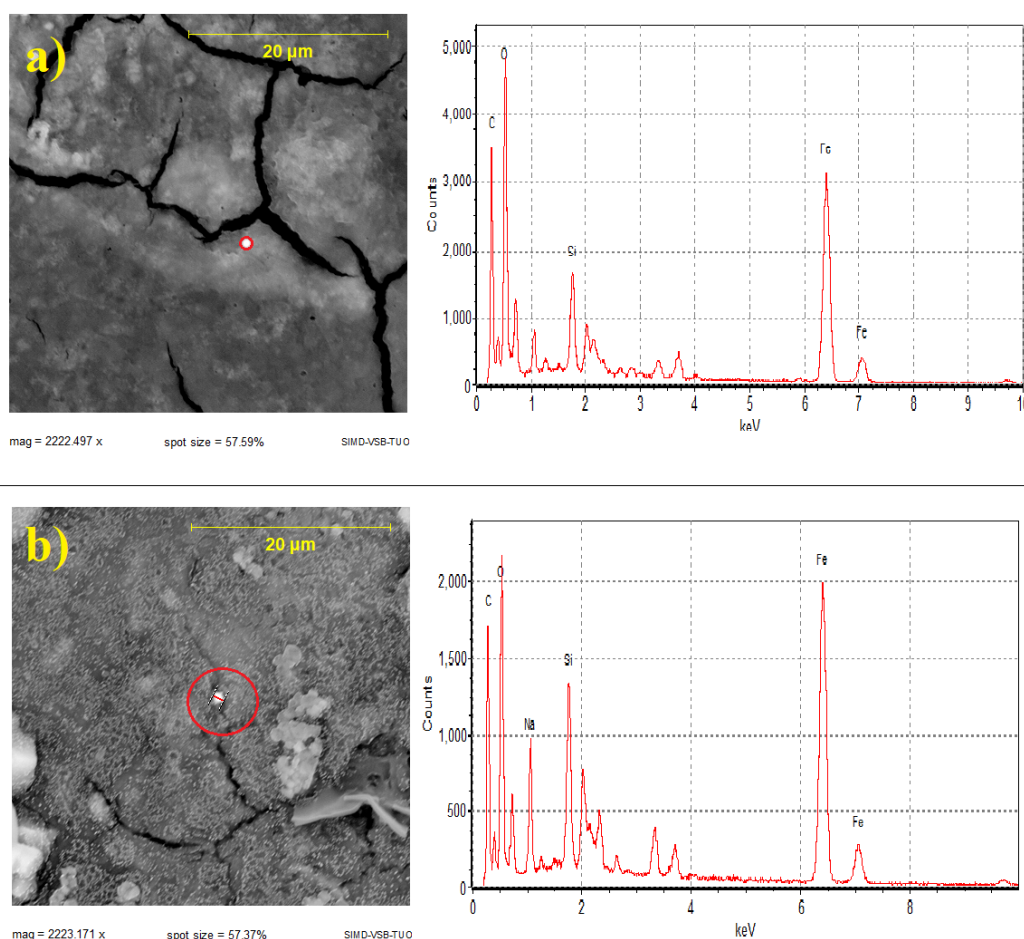
U námi detekovaných částic byla následně zjišťována jejich velikost.

Tabulka 8: Tabulka velikostí částic detekovaných bodovou SEM analýzou ve vzorcích slin před a po práci s použitím respirátoru a bez něho.

vzorek	prvek	d [μm]			
		bez roušky		s rouškou	
		před	po	před	po
2	Fe	1,54; 2,19; 1,45; 0,91; 1,93; 1,75	3,09; 0,91; 1,55; 1,02; 2,33; 2,36; 2,12; 2,72; 1,81; 0,82; 1,64; 1,64; 1,96; 1,74; 0,91; 2,45; 2,64	1,59; 2,65; 1,29; 0,98; 1,55	1,27; 1
	Mn			1,8	
4	Fe	1,77;	1,55; 3,22; 1,36; 2,27; 3; 1,82; 1,02; 4,27; 2,55; 4,26; 3,36; 3,55; 2,31; 2,64;		
5	Fe	8,58	7,97		
	Al	6,25			
6	Fe		2,36; 0,9		1,29; 1,22; 2,18; 1,79; 1,09; 2; 1,82
	Ti			1,5; 0,53 ; 0,98; 1,22; 1,2; 1,54	
7	Ti		2,45; 1,26		
8	Fe			1,96	
	Cu		2,16	3,73	
	Ni		1,87	1,11	11,84
9	Fe			2,09	
10	Ni				2,36
11	Fe	1,9			1,47; 3,02; 0,96; 3,06; 2,25; 4,26; 4,95; 4,15
	Cu				3,3; 3,98; 1,39; 1,79; 4,73; 3,01
	Ni				1,79
22	Fe				1,51
I	Fe		0,9; 1,39; 0,92	3,64	5,45; 1,2
II	Ag			1,39	
V.A	Fe			2,34	

Velikosti zjištěných částic se pohybovaly v rozmezí 0,53 – 11,84 μm (Tabulka 8) a často se vyskytovaly v pravidelných kulovitých tvarech (Obrázek 13a) nebo v tvarech nepravidelných (Obrázek 13b). Ze snímků je zřejmé, že se jedná o jednotlivé částice, nikoli shluk více částic. V některých případech byly zjištěny i částice pod 1 μm .

Na obrázku 13 je uvedena částice s majoritním obsahem železa, která byla zjištěna ve vzorcích slin respondenta pracujícího na pozici odjehlovače. Částice o velikosti okolo 1,09 μm byla detekována ve vzorcích slin po práci bez respirátoru (Obrázek 13a) a částice ve velikosti 1 μm ve vzorcích slin po práci s respirátorem. Z uvedených velikostí částic je patrné, že jsou přibližně stejně velké. Částice velikostí okolo 1 μm mohou použitým respirátorem proniknout, tudíž je možno je poté detekovat ve vzorcích slin odebraných nejen po práci bez respirátoru, ale také po práci s respirátorem.



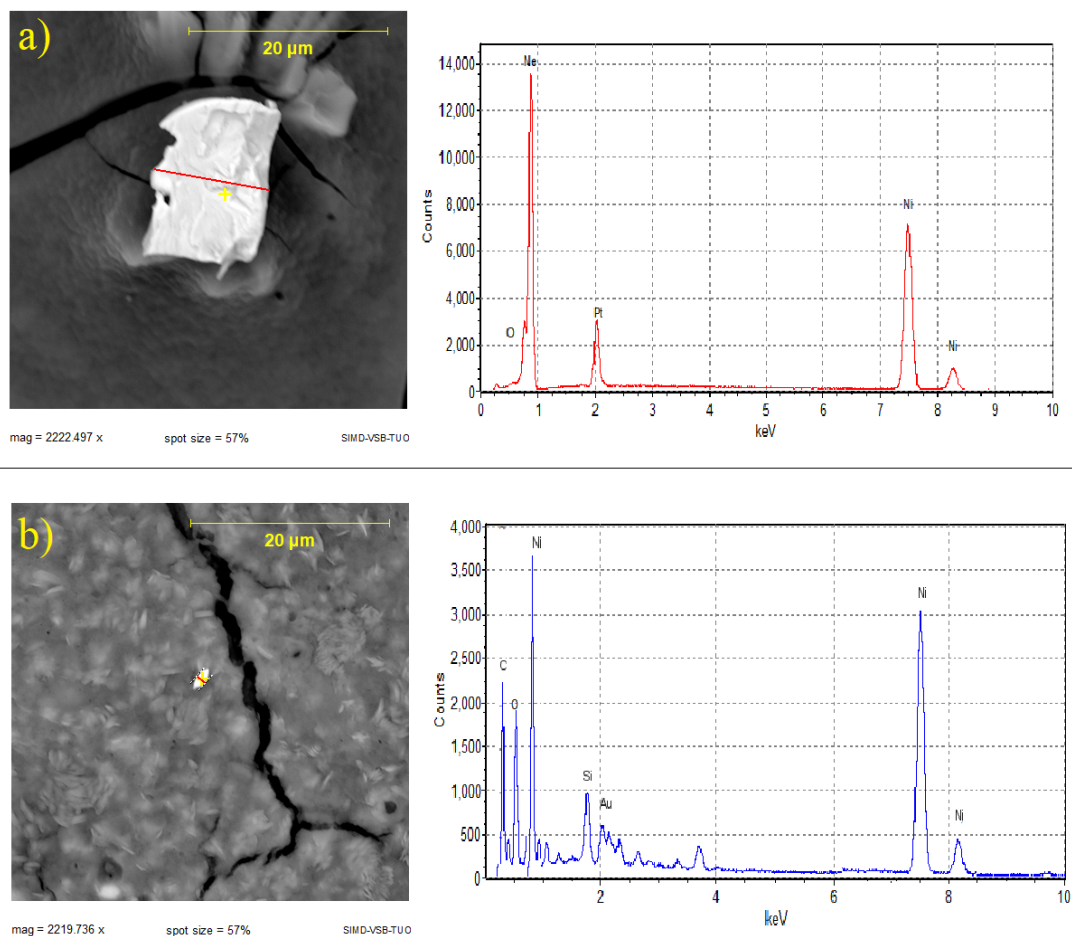
Obrázek 13: SEM snímek částic na bázi železa a příslušná EDS spektra detekované ve vzorku slin odjehlovače. a) vzorek slin po práci bez respirátoru (2B) – částice o velikosti 1,09 μm ; b) vzorek slin po práci s respirátorem (8D) - částice nepravidelného tvaru, velikost v označeném průměru 1 μm ;

Jak už bylo uvedeno výše, železo bylo zjištěno téměř ve všech hodnocených vzorcích slin. Pouze v případě povolání technik (vzorek č. 7), laborantka (vzorek č. 10) a pedagog (vzorek č. II) detekováno nebylo (Tabulka 7).

Perorální expozice nanočástic železa byla také předmětem studie, kterou provedl Navlokin a kol. (2011). V provedené studii byl pozorován vliv nanočástic železa o velikosti (70 ± 10) nm na morfologii vnitřních orgánů bílých laboratorních myší, a to po perorální expozici těchto částic. Nanočástice železa byly rozptýleny v roztoku s různými koncentracemi (250 mg/kg, 500 mg/kg a 1 000 mg/kg). Konkrétně byly posuzovány morfologické změny v ledvinách, slezině a játrech myší. Výsledky ukázaly, že v ledvinách došlo k otoku ledvinných spletitých tubulů při nízké koncentraci nanočástic železa (250 mg/kg), při koncentraci 500 mg/kg byl pozorován otok epitelu a také malá zrnitá dystrofie. Při maximální koncentraci (1 000 mg/kg) došlo k degeneraci spletitých tubulů a výraznější hyperémii byla pozorována u cév kortexu a glomerulů. V játrech nastala při koncentraci 250 mg/kg středně výrazná hyperémie krevních cév a degenerace hepatocytů. S rostoucí koncentrací nanočástic železa rostla také závažnost dystrofie, zároveň bylo v krvi a mezi hepatocyty pozorováno velké množství černých granulí. Velmi výrazná hyperémie krevních cév a degenerace buněk se vyskytla v případě koncentrace 1 000 mg/kg. V červené dřeni (*ang. red pulp*) sleziny bylo pozorováno velké množství černých granulí. V případě koncentrace 250 mg/kg a 500 mg/kg nanočástic železa byly zjištěny velké folikuly s aktivními zárodečnými centry. Při koncentraci 1 000 mg/kg byla pozorována převaha červené dřene nad bílou dření, přičemž bílá dřev byla s nezřetelnými obrysy a folikuly byly bez světlých center, zároveň byly také nalezeny velké buňky. Závěrem tedy říci, že perorální expozice nanočástic železa způsobila morfologické změny na vnitřních orgánech bílých laboratorních myší. Závažnost změn na orgánech závisí na koncentraci podaných nanočástic, přičemž se zvyšující se koncentrací se závažnost morfologických změn zvyšuje [39]. Lze předpokládat negativní vliv perorální expozice nanočástic také na lidský organismus.

Hanis a kol. (2004) se ve své studii zabývali souvislostí mezi cigaretovým kouřem, a složením slin a možností vzniku rakoviny dutiny ústní. Autoři zjistili, že přítomnost aktivních forem železa ve slinách má za následek zvýšení rizika vzniku rakoviny ústní dutiny, konkrétně orálního spinocelulárního karcinomu [41]. Tři účastníci studie, u nichž byly detekovány částice na bázi kovu, uvedli, že jsou kuřáci (Tabulka 7). Kouření mezi odběry vzorků slin může ovlivnit přítomnost nalezených částic. Zdrojem přítomnosti kovových částic ve slinách kuřáka mohou být právě cigarety.

Ve čtyřech vzorcích byly detekovány částice na bázi niklu (Tabulka 7). Například ve vzorku slin technického laboranta (vzorek č. 8) po práci s respirátorem byla částice niklu zjištěna ve velikosti 11,84 μm (Obrázek 14a), tato částice byla svou velikostí mezi všemi detekovanými částicemi největší. Naopak u stejného pracovníka, ale před prací (vzorek č. 8C), byla detekována částice niklu ve velikosti 1,09 μm (Obrázek 14b). Z tohoto zjištění vyplývá, že částice s majoritním obsahem niklu pravděpodobně nepochází pouze z pracovní expozice.



Obrázek 14: SEM snímky částic na bázi niklu a jejich příslušná EDS spektra detekované ve vzorcích slin u profese technický laborant. a) vzorek slin po práci s respirátorem (8D) – částice nepravidelného tvaru, velikost v označeném průměru 11,84 μm ; b) vzorek slin před prací s respirátorem 8C – částice nepravidelného tvaru, velikost v označeném průměru 1,09 μm .

Částice na bázi niklu byly také detekovány ve vzorcích slin laborantky (vzorek č. 10) a restaurátorky (vzorek č. 11). V obou zmíněných případech byly částice na bázi niklu detekovány pouze ve vzorcích odebraných po práci s respirátorem (Tabulka 7). V těchto případech nikl asi také nepocházel pouze z pracovní expozice. Perorální expozice niklu byla předmětem některých studií, kde byl zkoumán především vliv niklu na organismus zvířat,

ale i člověka. Studii týkající se změn biochemie krve u slepic byla provedena Kolesarovou a kol. (2008). V této studii autoři zkoumali změny biochemických parametrů krve slepic po perorálním podání niklu ve formě NiCl_2 . Experiment probíhal podobu 28 dní, přičemž slepice byly rozděleny do čtyř skupin, kdy každé skupině byla podávána pitná voda s jinou koncentrací niklu (0,02 g/l NiCl_2 ; 0,2 g/l NiCl_2 ; 2 g/l NiCl_2), jedna skupina slepic byla kontrolní. Biochemické parametry minerálního profilu (vápník, fosfor, hořčík, sodík, draslík), energetického a enzymatického profilu (glukóza, celkový cholesterol, celkové proteiny, triglyceridy, alaninaminotransferáza (ALT) aspartátaminotransferáza (AST), gama glutamyltransferáza (GGT) a glutamatdehydrogenáza (GLDH)) byly analyzovány v krevním séru v den 0, 7, 14, 21 a 28 experimentu. Výsledky studie ukázaly, že průměrné hladiny parametrů minerálních metabolismů byly relativně stabilní, výjimkou byly parametry metabolismu vápníku. Při hodnocení výsledků byl zaznamenán výrazný pokles vápníku během experimentů, a to ve skupině s nejvyšší koncentrací niklu v pitné vodě (2 g/l NiCl_2). Dále nebyly zjištěny žádné významné rozdíly mezi parametry enzymatickými a energetickými, tedy vyjímaje poklesu ALT v 7. den experimentu. Závěrem zle tedy říci, že existuje významná asociace mezi hladinami niklu, vápníku a ALT v těle [42].

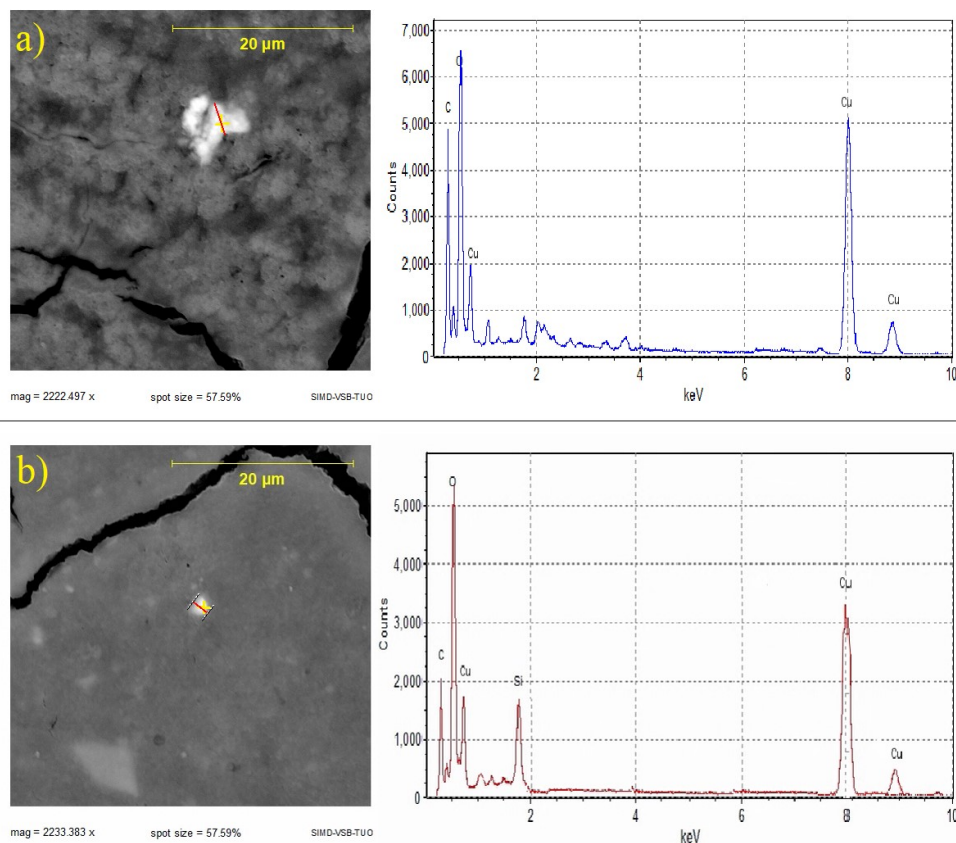
Perorální podávání niklu slepicím bylo také předmětem studie, kterou provedla Arpasová a kol. (2007). Experiment byl proveden stejně, tedy v průběhu 28 dní byla slepicím podávána pitná voda s různou koncentrací niklu ve formě NiCl_2 (0,02 g/l NiCl_2 ; 0,2 g/l NiCl_2 ; 2 g/l NiCl_2). Nicméně, tato studie se zabývala vlivem niklu na tělesnou hmotnost slepic, produkci vajec a jejich kvalitu. Bylo zjištěno, že ve skupině s nejvyšší koncentrací niklu (2 g/l) došlo k výraznému snížení růstových parametrů slepic a také k poklesu hmotnosti vyprodukovaných vajec. Dále také výsledky ukázaly, že celkové množství vyprodukovaných vajec záviselo na exponované dávce niklu, a to nepřímo úměrně. Výsledky také ukázaly, že došlo ke zpevnění skořápky vajec ve všech skupinách, kterým byl nikl podáván. Zpevnění je přisuzováno změně složení vaječné skořápky [43].

Studii zaměřující se na rizika niklu na lidské zdraví provedli Thoburn a Larsen (1976). Autoři v této studii provedli hodnocení zdravotních rizik niklu a kadmia pro zaměstnance společnosti zabývající se výrobou nikl-kadmiových baterií. Zaměstnanci této společnosti jsou vystaveni rachu a kouři, a to zejména v oblastech výroby a údržby. U přibližně 60 zaměstnanců, převážně žen, se objevila nevolnost. Hodnocení životního prostředí odhalilo, že existuje pro zaměstnance nebezpečí právě při vystavení prachu niklu a kadmia. U pracovníků ve čtyřech oblastech byly zjištěny vyšší hodnoty niklu a kadmia ve vlasech a moči oproti hodnotám kontrolní skupiny. Pracovníci ve dvou ze čtyř skupin vykazovali také

symptomatologii a fyzické nálezy, které naznačovali podráždění horních cest dýchacích. Ve vzduchu byly také zjištěny vyšší hodnoty niklu a kadmia, a to zejména v oblastech, kde pracovali uvedené dvě skupiny s fyzickými nálezy. Lékařské hodnocení zaměstnanců však neprokázalo žádné zjevné závažné onemocnění spojeno s povoláním [44].

Perorální expozicí niklu se také ve své studii zabývala Flyvholm a kol. (1984), kdy byl zkoumán obsah niklu v potravě a odhad jeho příjmu. Autoři zjistili, že ačkoli se obsah niklu v potravinách kontroluje, jeho přijaté množství je pro člověka vysoké. Mezi dermatology je obecně známo, že po perorální expozici niklu může dojít k vyvolání ekzému. V dánské populaci je alergie na nikl zaznamenána u 10 % žen a 2 % mužů. Příjem niklu z dánské potravy je odhadován na cca 150 µg/osoba/den. Relativně velké množství niklu obsahuje zelenina, obilniny a chléb. Některé potraviny mají však obsah niklu velmi vysoký, jedná se především o kakao a čokoládu, sójové boby, ovesné vločky, ořechy a mandle či luštěniny. Při požití těchto potravin může vzrůst dávka niklu až na hodnotu 900 µg/osoba/den. Avšak při požití 500 – 600 µg niklu může být vyvolán již zmiňovaný ekzém [45]. Jak z této studie tedy vyplívá, vysoké množství niklu je pro lidský organismus nebezpečné a vznikají různé zdravotní rizika.

Mezi dalšími detekovanými elementy byla měď. Byla zjištěna ve vzorcích slin technického laboranta (vzorek č. 8) a restaurátorky (vzorek č. 11). Ve vzorku slin technického laboranta byla částice mědi detekována po práci bez respirátoru (8B) a před prací s respirátorem (8C). Částice ve vzorku 8C byla zjištěna jako shluk tvořený menšími částicemi (Obrázek 15a). Z obrázku je patrné, že je to shluk o velikosti 3,73 µm, tvořený mnohem menšími částicemi. Podle detekce částic mědi můžeme předpokládat, že tyto zjištěné částice se mohly do slin technického laboranta dostat během práce bez respirátoru a setrvat tam až do druhého dne, kdy byl odebrán vzorek 8C, tedy před prací s respirátorem. U restaurátorky, vzhledem k charakteru dané profese, je výskyt částice mědi o velikosti 2,06 µm (Obrázek 15b) ve vzorcích slin (11D) pravděpodobně také výsledkem dlouhodobé pracovní expozice. Měď v hodnocených vzorcích tedy mohla pocházet z pracovní expozice.



Obrázek 15: SEM snímky detekovaných částic na bázi mědi. a) vzorek slin technického laboranta před prací s respirátorem (8C) – částice nepravidelného tvaru, velikost v označeném průměru 3,73 µm; b) vzorek slin restaurátorky po práci s respirátorem (11D) – částice nepravidelného tvaru, velikost v označeném průměru 2,06 µm.

Toxicita mědi je předmětem mnoha studií, některé z nich se zaměřují přímo na vliv mědi na zvířecí i lidský organismus. Například studii zabývající se toxicitou oxidu měďnatého (CuO) a nanočástic uhličitanu měďnatého (CuCO₃NPs) po perorálním podání u potkanů provedl De Jong a kol. (2018). Nanočástice CuO a CuCO₃NPs se používají jako antimikrobiální látky a prostředky na ochranu dřeva, je tedy možný přenos těchto látek skrz ruce do úst. Pozorované změny hematologických parametrů vyvolané nanočásticemi obou typů a také markery klinické chemie, jako je např. zvýšená alaninaminotransferáza (ALT) svědčí o poškození jater. U CuO NPs byly pozorovány histopatologické změny v kostní dřeni, žaludku a játrech, jednalo se zejména o zánětlivé změny či degeneraci. CuO NPs i CuCO₃NPs vyvolaly morfologické změny v žaludku, játrech, slezině, brzlíku, ledvinách a kostní dřeni. U sleziny a brzlíku byl pozorován úbytek, který vyžaduje další imunotoxické hodnocení. V simulaci umělých žaludečních tekutin docházelo k částečnému rozpouštění nanočástic, nicméně ve střevních podmínkách se částice zmenšovaly a začaly aglomerovat do větších struktur. To znamená, že ionty i nanočástice mědi lze považovat za potencionální

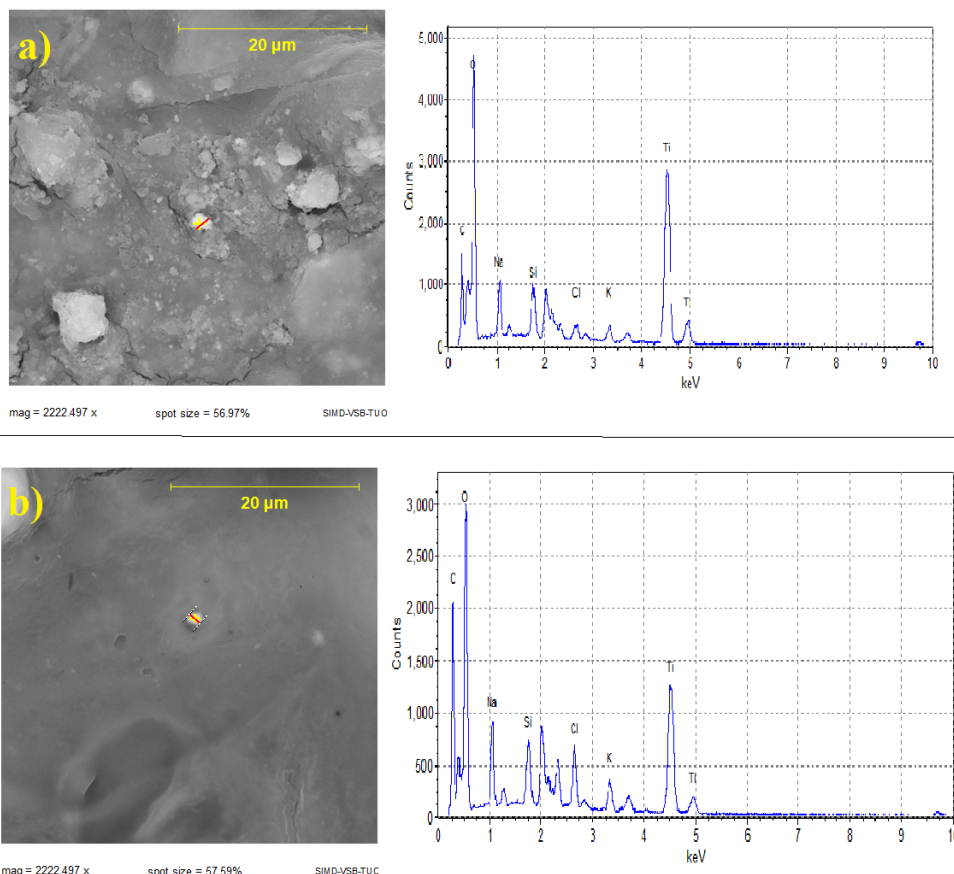
toxické látky. Histopatologické výsledky ukazují, že závažnější poškození orgánů došlo v případě CuCO₃NPs [46].

Toxicitou nanočástic mědi u potkanů se ve své studii také zabýval Lee a kol. (2016). Autoři v této studii porovnávaly *in vivo* toxicitu CuNPs (25 nm) a mikročástic mědi (CuMPs) o velikosti 14 – 25 μ m po perorálním podání těchto částic potkanům. Výsledky ukazují, stejně jako ve studii výše, že rozpustnost CuNPs v žaludečních šťávách je relativně vysoká oproti rozpustnosti v prostředí střev. CuMPs v porovnání vykazovaly mnohem menší rozpustnost již v žaludečních šťávách, konkrétně se rozpustilo 84,5 % CuNPs a pouze 17,2 % CuMPs. V krvi testovaných orgánů bylo zaznamenáno vysoké množství CuNPs, zvláště vysoká hladina byla zaznamenána v játrech, ledvinách a slezině. V případě CuMPs nedošla k výraznému zvýšení hladiny mědi v krvi orgánů, výjimkou byly pouze játra a ledviny, ovšem i zde došlo k menšímu zvýšení hladiny mědi v krvi. CuNPs způsobily také zvýšení koncentrace mědi v moči, zatímco expozice CuMPs vliv na koncentraci mědi v moči neměly. V analyzované stolici potkanů byly zaznamenány vysoké koncentrace mědi po perorální expozici CuMPs, expozice CuNPs ovšem ke zvýšení koncentrace mědi ve stolici nevedla. Srovnávací studie *in vivo* ukázala, že CuNPs způsobily poškození červených krvinek, brzlíku, sleziny, jater a ledvin, zatímco CuMPs nezpůsobily žádné nepříznivé účinky [47]. Toxicitu CuONPs u potkanů ve své studii uvádí také Anreddy (2018), kdy výsledky studie prokázaly poškození jater u potkanů po perorální expozici mědi, přičemž poškození jater bylo přičteno oxidačnímu stresu [48].

Gotteladn a kol. (2001) provedli studii, kdy zkoumali vliv akutní expozice mědi na gastrointestiniální permeabilitu u zdravých dobrovolníků. Výsledky ukázaly, že u 20 % lidí, kteří pozřeli roztok síranu měďnatého o koncentraci 10 mg/l nastala náhlá nevolnost, dále pak u 5 % těchto lidí došlo ke zvracení. Výsledky studie ukazují, že akutní perorální expozice roztoku mědi o koncentraci 10 mg/l Cu má účinek na žaludeční, ale nikoli střevní sliznici [49]. Toto tvrzení koresponduje s výsledky studií provedených na potkanech, tedy že dochází k rozpouštění mědi v žaludečních šťávách a ve střevech nikoli, viz výše. Stejně jako v případě niklu, byla provedena studie týkající se obsahu mědi v potravě. Tuto studii tentokrát provedl Pang a kol. (2001). Ze studie vyplynulo, že příjem mědi potravou činí $923,2 \pm 685,6$ μ g denně. Většina z celkového příjmu byla do těla dodána v pevné stravě a nelze tedy předpokládat nedostatečný příjem mědi, která je v těle stopovým prvkem [50].

Mezi dalšími zjištěnými elementy ve vzorcích hodnocených slin byly částice na bázi titanu, které byly detekovány ve vzorcích poskytnutých svářečem a technikem. Na obrázku 16a je částice nepravidelného tvaru o velikosti 1,74 μ m, tato částice byla detekována ve

vzorku slin svářeče před prací bez roušky (6A). Druhá detekovaná částice na bázi titanu, (Obrázek 16b) o velikosti 1,47 μm , byla nalezena ve vzorcích slin technika po práci bez respirátoru (7B). V obou případech nelze jednoznačně říci, zda částice na bázi titanu pocházely z pracovní expozice, nebo spíše z běžného znečištění ovzduší.



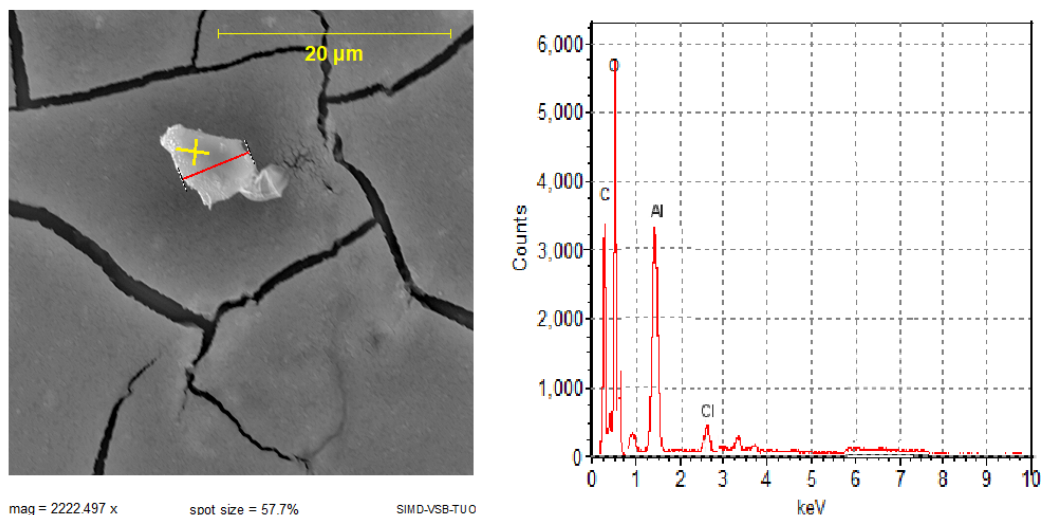
Obrázek 16: SEM snímky detekovaných částic na bázi titanu a jejich příslušná EDS spektra. a) vzorek slin svářeče před prací s respirátorem (6C) – částice nepravidelného tvaru, velikost v označeném průměru 1,74 μm ; b) vzorek slin technika po práci bez respirátoru (7B) – částice nepravidelného tvaru, velikost v označeném průměru 1,47 μm .

Perorální expozicí částic na bázi titanu a jejich vliv na živý organismus se také zabývá velké množství studií. Tassinari a kol. (2013) provedli studii zaměřenou na perorální krátkodobou expozici nanočástic oxidu titaničitého (TiO_2NPs) u potkanů. Autoři se v této studii zaměřili konkrétně na reprodukční a endokrinní systémy a slezinu potkanů. Experiment probíhal po dobu 5 dní, kdy byli potkani exponováni částicemi anatasu o koncentraci 0; 1; 2 mg/kg tělesné hmotnosti denně. Výsledky ukázaly, že došlo ke zvýšení celkové hladiny titanu ve tkáni sleziny a vaječnících. Histologické změny štítné žlázy, nadledvinek, kůry nadledvin a vaječnickových granulóz byly pozorovány v souvislosti s pohlavím, a to bez celkové toxicity. Snížení funkce štítné žlázy byla indikována u samců. U samic se také zvýšila hladina testosteronu s vyšší dávkou TiO_2NPs , zatímco u samic došlo

k jejímu klesu. Byly detekovány agregáty TiO_2 a zvýšená bílá dřev u samic s vysokou dávkou TiO_2NPs , i když hladiny Ti ve tkáni zůstaly nízké [51].

Titan, zejména ve formě oxidů, se používá hojně v běžném životě, např. jako přísada v kosmetice, zubních pastách či dokonce v potravinách. Z toho důvodu je oxidu titaničitému ve studiích věnována větší pozornost. Studie, kterou provedl Ze a kol. (2014) dokazuje toxicitu TiO_2NPs u myši. Výsledky této studie prokázaly závažné patologické změny, zhoršení prostorového rozpoznávání u myši po perorální expozici TiO_2NPs [52]. Poranění sleziny u myši po perorální expozici TiO_2NPs bylo prokázáno ve studii, kterou provedl Sang a kol. (2013). Výsledky ukázaly, že se TiO_2NPs ve slezině usadil a následně vyvolaný oxidační stres způsobil zánět a nekrózu sleziny [53]. Také Vasantharaja a kol. (2015) ve své studii došel k tomu, že perorální expozice TiO_2NPs v různých koncentracích (50 a 100 mg/kg tělesné hmotnosti) představuje zdravotní rizika u krys. Výsledky této studie ukazují, že došlo ke změnám na játrech a ledvinách při obou koncentracích TiO_2NPs . Změny mezi hladinami celkového proteinu, glukózy, aspartát transaminázy, alanin transaminázy a alkalické fosfatázy naznačují poškození jater, významné zvýšení obsahu močoviny v krvi a kyseliny močové pot naznačuje poškození ledvin u krys po perorální expozici TiO_2NPs [54]. Porovnání vlivu velikosti částic TiO_2 a jejich následný vliv na organismus myši provedl ve své studii Wang a kol. (2007). Autoři v této studii perorálně podávaly myším TiO_2NPs (20 a 80 nm) a TiO_2MPs (155 nm). Výsledky ukázaly, že TiO_2MPs neprokázaly žádnou zřejmou akutní toxicitu, avšak TiO_2NPs v případě samic vyvolaly změny jater. Dále byla u myši pozorována nefrotoxicita a patologická změna ledvin. Po perorální expozici TiO_2NPs došlo také k poškození myokardu. Biodistribuční experiment ukázal, že se TiO_2 ukládá především v játrech, slezině, ledvinách a tkáni plic, což naznačuje, že částice TiO_2 by mohly být gastrointestiniálním traktem transportovány také do dalších tkání a orgánů [55].

Částice na bázi hliníku byla detekována pouze ve vzorku slin horníka, a to konkrétně před prací bez použití respirátoru (5A), (Obrázek 17). Jak je ze snímku zřetelné, jedná se o nepravidelnou částici o velikosti 6,25 μm . EDS spektrum opět ukazuje, že se částice ve vzorku nachází pravděpodobně ve formě oxidu.

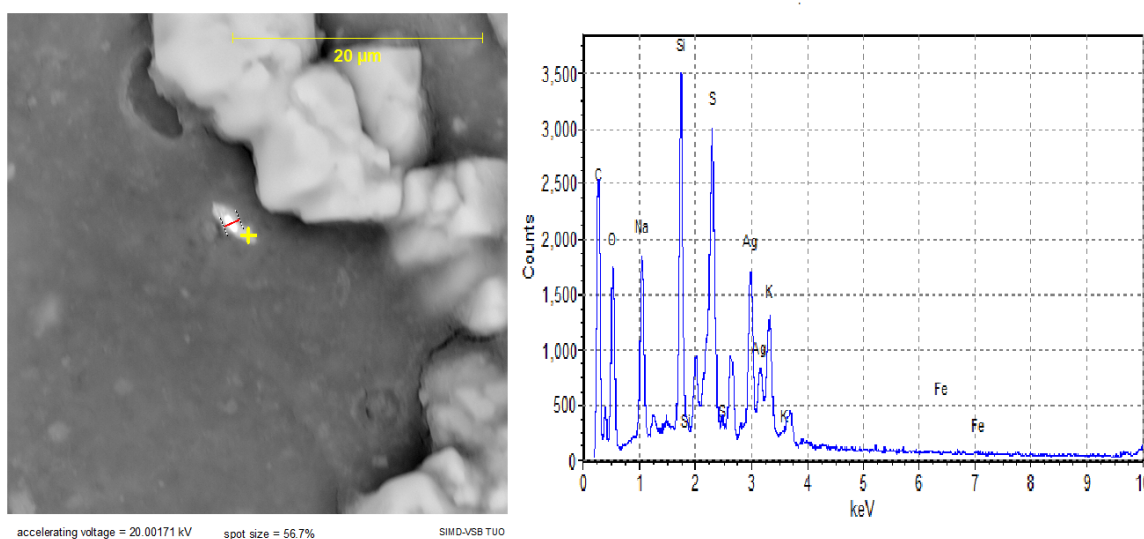


Obrázek 17: SEM snímek detekované částice na bázi hliníku ve vzorku slin horníka před prací bez respirátoru (5A) a její příslušné EDS spektrum, velikost v označení průměru 6,25 μm.

Hliník se vyskytuje hojně v přírodě, je také součástí mnoha potravin, nebo se může do těla dostat uvolněním např. z kuchyňského nádobí. Hliníku je přisuzována vysoká toxicita v lidském těle. Částice hliníku bývají často spojovány s neurodegenerativními chorobami, zejména pak s Alzheimerovou chorobou, Parkinsonovou chorobou a roztroušenou sklerózou. V případě Alzheimerovy choroby se jedná o vysoké koncentrace hliníku zvyšující agregaci a depozici amyloidů, což je hlavním rysem Alzheimerovy choroby [56]. Nicméně neexistují jasné důkazy o tom, že právě hliník má za následek vznik Alzheimerovy choroby a zatím nebyl vytvořen žádný zvířecí model, který by byl schopný napodobit všechny kognitivní, behaviorální, biochemické a histopatologické abnormality pozorované právě při této nemoci. Zhang a kol. (2012) se ve své studii pokusil provést experiment, který by přiblížil vliv hladiny hliníku na vznik Alzheimerovy choroby. Při svém experimentu autoři použili myši, které byly exponovány právě hliníkem. K posouzení behaviorální funkce učení a schopnosti paměti bylo použito vodní bludiště. Na konci experimentu bylo opravdu zřetelné zhoršení orientace myši, které byly hliníkem exponované. Výsledky této studie tedy naznačují, že existuje úzký vztah mezi expozicí hliníku a změnami v částech mozku, které zodpovídají za schopnosti orientace a paměti [57]. Souvislost hliníku a Parkinsonovy choroby také není zcela jistá, ale byla provedena studie, která tomu naznačuje. Hirsch a kol. (1991) provedl studii, kdy byly zkoumány mozky pacientů s Parkinsonovou chorobou, přičemž byla také zkoumána kontrolní skupina, tedy mozky zdravých lidí. Výsledky ukázaly, že v případě „zdravých“ mozků se v mozkové tkáni nachází pouze železo, křemík, draslík, sodík, síra a zinek, a to více méně ve stejném množství u všech analyzovaných

vzorků. V mozcích postižených Parkinsonovou chorobou bylo zjištěno želeno ve vysokých koncentracích a zároveň byl zde zjištěn hliník, který ve vzorcích „zdravých“ mozků detekován nebyl [58].

Stejně jako v případě hliníku, bylo stříbro detekováno pouze ve vzorku slin pedagoga před prací s použitím respirátoru (II.C). Ze SEM snímku je opět vidět, že se jedná o nepravidelnou částice o velikosti 1,39 μm (Obrázek 18). EDS spektrum ukazuje, že se pravděpodobně jedná o složenou z více prvků.



Obrázek 18: SEM snímek detekované částice na bázi stříbra ve vzorku slin pedagoga před prací s respirátorem (II.C) a její příslušné EDS spektrum, velikost v označení průměru 1,39 μm .

Stříbro a nanočástice stříbra jsou v dnešní době hojně využívány především pro své antibakteriální vlastnosti, a to v mnoha oblastech života. Ovšem ani stříbro není pro živý organismus zcela bezpečné, zejména jedná-li se o nanočástice stříbra. Nanočástice stříbra mají pravděpodobně schopnost vstoupit do mozku, akumulovat se tam a následně ukládat. Skalska a kol. (2015) provedla studii, ve které byly potkani perorálně exponováni nanočásticemi stříbra (10 nm) stabilizovanými citrátem (AgNPs). Byl pozorován vliv těchto nanočástic na synapse a specifické proteiny. Během dvou týdnů, kdy byly AgNPs potkanům podávány došlo ke strukturálním změnám, včetně rozmazání synapsí a silně zvýšené hustoty shluků synaptických váčků ve středu presynaptické části. Charakteristickým rysem pozorovaným při expozici AgNPs byla narušená synaptická membrána, což svědčí o silné synaptické degeneraci. Dále bylo také pozorováno výrazné snížení hladiny presynaptických proteinů. Malé AgNPs tedy vedou k závažným synaptickým degeneracím, zejména

v hipokampální oblasti mozku. Pozorování mohou naznačovat poškození nervové funkce a v případě hippocampu mohou předpovídat poškození kognitivních procesů [59].

Další studií týkající se vlivu nanočástic stříbra na organismus potkanů provedl van der Zande a kol. (2012). V této studii autoři exponovali potkany nanočásticemi stříbra a AgNO_3 po dobu 28 dní. Výsledky ukázaly, že stříbro bylo přítomno ve všech analyzovaných orgánech, přičemž nejvyšší hladina stříbra byla detekována v játrech a slezině v obou případech expozice. Koncentrace stříbra vysoce korelovaly s množstvím Ag^+ v suspenzi, což naznačuje, že hlavně Ag^+ prošlo stěnami střev potkanů, v mnohem menší míře těmito stěnami prošly také AgNPs. Následně bylo zjištěno, že všechny orgány, krom mozku a varlat, byly po osmi týdnech od stříbra vyčištěny. Biochemické markery a hladiny protilátek v krvi, proliferace lymfocytů a uvolňování cytokinů neodhalily hepatotoxicitu ani imunotoxicitu expozice stříbra. Při hodnocení rizika nanočástic stříbra by však měly být zváženy důsledky *in vivo* tvorby nanočástic stříbra a dlouhé retence stříbra v mozku a varlatech. [60]. Studii týkající se toxických účinků nanočástic stříbra na sliznici tenkého střeva myši po perorální expozici provedl Shahare a kol. (2012). Autoři v této studii exponovali myši nanočásticemi stříbra o velikosti 3 – 20 nm v dávkách 5; 10; 15 a 20 mg/kg tělesné hmotnosti po dobu 21 dní. Výsledky ukázaly, že došlo k výraznému poklesu tělesné hmotnosti ve všech skupinách, které byly exponovány AgNPs. Nejvyšší váhový úbytek vykazovaly myši exponovány dávkou 10 mg/kg tělesné hmotnosti. Bylo zjištěno, že AgNP poškozují mikrovilli epiteliálních buněk i střevní žlázy. Lze předpokládat, že ztráta mikrovilů snížila absorpční kapacitu střevního epitelu a tím i úbytek hmotnosti [61].

Z výsledků bodové analýzy je zřejmé (Tabulka 7), že částice na bázi kovů byly detekovány ve všech vzorcích. Ve vzorku č. 2 (odjehlovač) byly částice kovů detekovány ve všech analyzovaných vzorcích, tedy před prací i po práci, bez respirátoru i s ním. Vzhledem k tomu, že se částice v tomto vzorku nacházely ve všech odebraných vzorcích, bylo by možné polemizovat o účinnosti použitého respirátoru při práci. Ovšem je třeba zmínit, že ve vzorku odebraném po práci bez respirátoru byl detekován mnohem vyšší počet částic na bázi kovů, než tomu bylo v případě vzorku slin po práci s respirátorem, kde byly detekovány pouze dvě částice na bázi železa. Ve vzorcích slin zámečnicka (vzorek č.5) byly částice na bázi železa detekovány pouze v první den odběru, a to jak před prací, tak také po práci bez respirátoru.

Výhodou této metody je, že není nutné nastavovat předem podmínky, které jsou určující pro následné měření, a tudíž lze detekovat i částice které by automatická analýza nemusela zachytit. Naopak nevýhodou je relativně velká časová náročnost a současně nelze také

identifikovat všechny elementy vyskytující se ve vzorku, tudíž nemáme kvantitativní údaj o všech přítomných prvcích

3.3.2. Metoda analýzy v ploše (SEM-EDS)

Z důvodu potřeby kvantitativních údajů o pevných částicích ve vzorcích byla použita plošná automatická analýza, která měla pro všechny vzorky společné znaky. V rámci této analýzy byly vytvořeny vždy 4 plochy na daném vzorku, tak aby došlo k pokrytí plochy o výměře 1 mm². V rámci každé takto vytvořené plochy byl nastaven přesah 25 %. Automatickou analýzou byly detekovány prvky kovů Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Al, Zr, W s požadavkem na morfologii $0,1 \mu\text{m} < d_{\text{max}} < 89 \mu\text{m}$. Pro vyhodnocení EDS analýzy byl kladen požadavek na minimální počet countů, a to na hodnotu 500. Detekce částic byla vždy v SEM nastavena v rámci prahování obrazu na LM = 135 a LS = 185, US = 220, UM = 255, tyto hodnoty byly nastaveny jako fixní. Pro dobrou detekci poté docházelo pouze k nastavování kontrastu v rozmezí $(50 \pm 5) \%$ a jasu v rozmezí pro jas $(10 \pm 5) \%$. Pro všechny analyzované vzorky bylo nastaveno urychlovací napětí 20 keV a spot 57,6 %. Pracovní vzdálenost jednotlivých vzorků se pohybovala okolo 9 mm. Přestože se analýza v ploše jevila ze začátku jako slibná metoda, bylo nalezeno ve vzorcích mnohem méně prvků než při analýze v jednotlivých bodech. Výsledky z analýzy v ploše jsou uvedeny v Tabulce 9.

Tabulka 9: Tabulka částic detekovaných plošnou analýzou a jejich velikosti.

vzorek	plocha [mm ²]	bez roušky						s rouškou					
		před	dmin [μm]	dmax [μm]	po	dmin [μm]	dmax [μm]	před	dmin [μm]	dmax [μm]	po	dmin [μm]	dmax [μm]
2	1	Fe	0,72	5,92				Ti	0,76	0,98			
4	1				Ti	0,59	0,98						
5	1	Fe	11,91	15,23									
6	1				Ti	0,73	1,01				Ni	5,47	8,81
7	1										Fe	2,87	6,81
8	1				Ce, Fe	0,34 (Fe)	11,86 (Ce)	Fe	2,76	11,25			
9	1							Fe	2,59	8,05			
10	1										Fe, Ni	0,76(Fe)	4,63
11	1				Fe	15	11,38				Fe	0,88	1,47
22	1	Ce, Fe	0,45 (Ce)	4,84 (Fe)	Fe	0,46	0,57				Ce	1,26	1,41
I	1							Ti	2,71	4,52			
II	1												
V.A	1	Ni	1,8	3,74							Fe	2,45	2,98

Částice v případě plošné analýzy nebyly detekovány ve všech vzorcích, na rozdíl od analýzy bodové. Automatickou plošnou analýzou byly detekovány částice na bázi kovů také u vzorků, ve kterých bodovou SEM analýzou žádné částice detekovány nebyly. Automatickou plošnou analýzou byly v některých vzorcích zjištěny navíc částice ceru (Tabulka 9). Největší částicí byla detekována částice železa o velikosti 15,23 μm ve vzorku 5A (horník před prací), nejmenší částice byla opět částice železa o velikosti 0,34 μm a byla detekována ve vzorku 8B (technický laborant po práci bez respirátoru). Některé kovy, konkrétně tedy Al, Cu či Mn, které byly detekované bodovou analýzou (Tabulka 7), plošnou analýzou detekovány nebyly. Automatickou plošnou analýzou byly v některých vzorcích (8B – technický laborant po práci bez respirátoru, 22A – restaurátorka před prací, 22D – restaurátorka po práci s respirátorem) detekovány částice ceru. Cer je vzácný kov šedé barvy ze skupiny lanthanoidů. Vyskytuje se ve čtyřech alotropických modifikacích jako krychlový α – Ce, jenž je stabilní pod $-178\text{ }^{\circ}\text{C}$, hexagonální β – Ce je stabilní mezi $-178\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, krychlový γ – Ce stabilní mezi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $762\text{ }^{\circ}\text{C}$ a krychlový δ – Ce, který je stabilní nad $762\text{ }^{\circ}\text{C}$ [62]. Cer nachází uplatnění v keramice, fluorescenčních materiálech, abrazivech, magnetech atd [63]. Aplikaci ceru lze nalézt také v medicíně, zde se používá jako antiseptické činidlo pro léčbě popálenin [63], je součástí léků proti nevolnostem v dopravních prostředcích jako šťavelan ceritý nebo se používá také jako antiemetikum při chemoterapiích [61]. Oxidy ceru jsou poté účinnými antikorozními nátěry [64].

Automatická analýza plochy je vhodná pro kvantitativní analýzu biologických vzorků. V případě vzorků v této práci (sliny) by pravděpodobné bylo zapotřebí analyzovat celou plochu vzorku naneseného na sklíčko. Což by ovšem bylo velmi časově náročné, převážně z důvodu složení těchto vzorků. Vzorky slin obsahovaly velké množství krystalů solí. Přítomné krystaly solí způsobily, že bylo velmi obtížné nastavit parametry potřebné pro automatickou plošnou analýzu, zejména tedy nastavení kontrastu a jasu. Současně na základě nouzového stavu, který byl v ČR vyhlášen, byla z časových důvodů v každém vzorku analyzována pouze plocha o rozměru 1 mm^2 .

3.3.3. Měření objemových magnetizačních křivek

Na základě vysokého množství částic na bázi železa, zjištěných ve vzorcích (Tabulka 7, Tabulka 9), bylo provedeno doplňující měření magnetizačních křivek jednotlivých vzorků slin, které zároveň přítomnost železa ve vzorcích potvrzuje.

Pro potvrzení přítomnosti magnetických složek (tzn. železa) ve studovaných vzorcích byla provedena magnetická měření detekující hmotnostní magnetizaci z celého objemu vzorku pomocí vibračního magnetometru VSM EZ9 MicroSense (VSM). Vzorek, umístěn

do vnějšího magnetického pole generovaného elektromagnetem, indukuje napětí, které je snímáno detekčními cívkami a jehož velikost je přímo úměrná hmotnostní magnetizaci měřeného vzorku. Naměřené magnetizační křivky při pokojové teplotě ukazují závislost hmotnostní magnetizace vzorku na vnějším magnetickém poli. Maximální použité magnetické pole bylo ± 1600 kA/m. Parametry použitého nastavení intenzity magnetického pole pro měření objemových magnetických křivek jsou uvedeny v Tabulce 10.

Tabulka 10: Parametry nastavení intenzity magnetického pole.

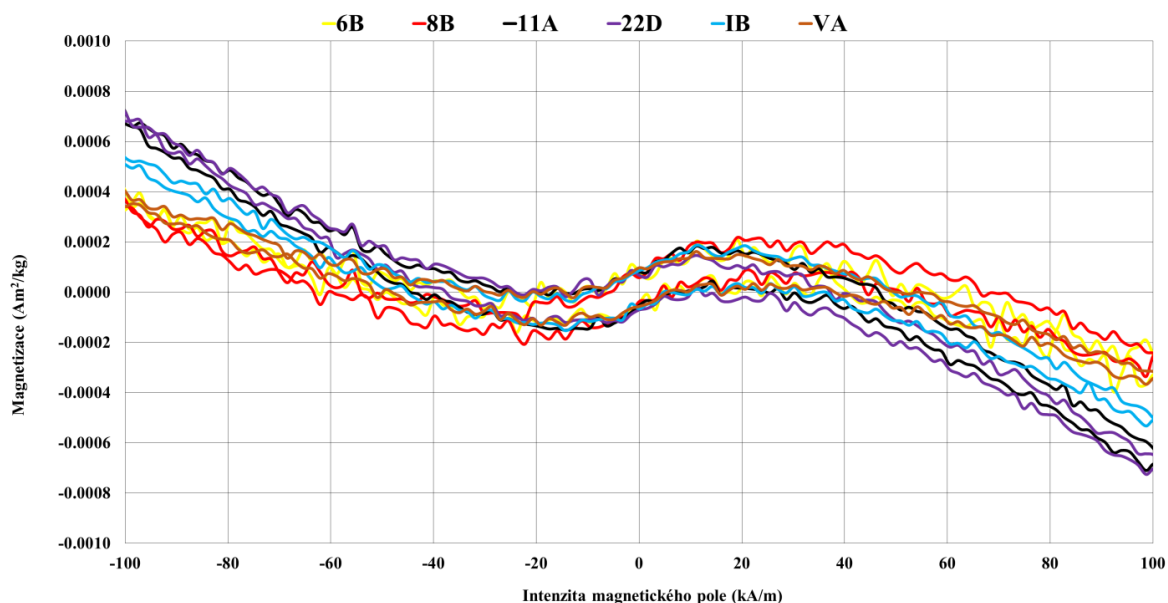
krok měření (kA/m)	parametry nastavení intenzity magnetického pole (kA/m)	
	od	do
39,7	-1591	-159
1,59	-159	159
39,7	159	1591

K měření hmotnosti vzorku slin byly použity přesné analytické váhy značky SARTORIUS LE 225D. Hmotnost vzorku byla stanovena jako průměrná hmotnost z třech naměřených hodnot. Hodnota hmotnosti vzorku je důležitá pro přepočet magnetického momentu na hmotnostní magnetizaci u objemových magnetizačních křivek. Hmotnost všech vzorků se pohybovala okolo 0,06 g.

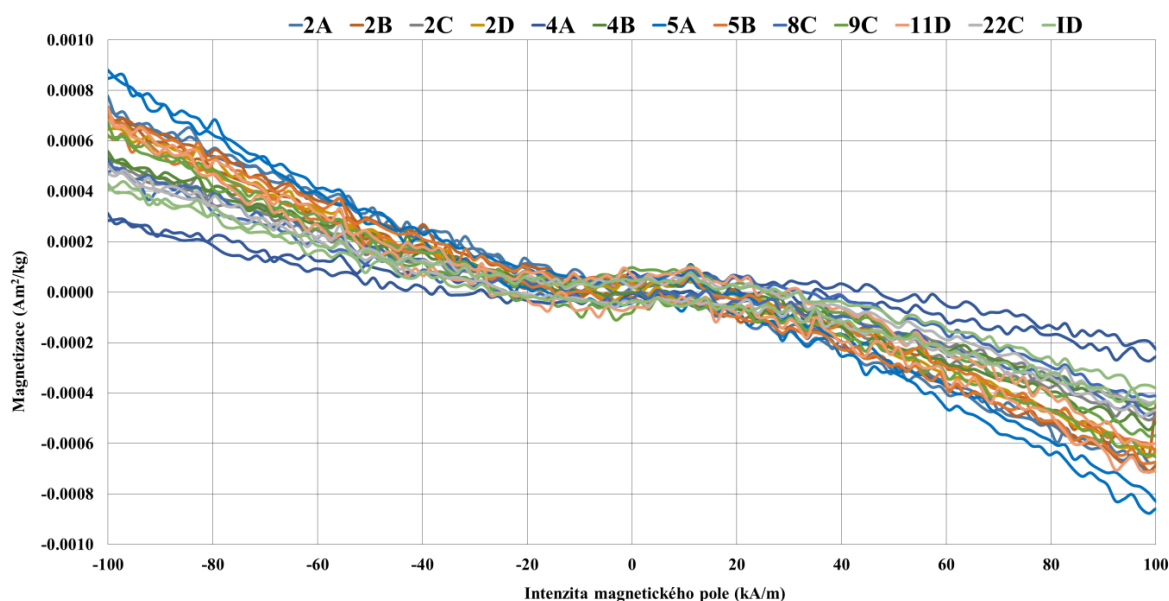
Vzorky slin mohou být rozděleny dle magnetizačního chování do dvou skupin. Vzorky slin s označením 6B (svářeč, práce bez respirátoru), 8B (technický laborant, práce bez respirátoru), 11A (restaurátorka, před prací), 22D (restaurátorka, práce s respirátorem), I.B (obchodní zástupce, práce bez respirátoru), V.C (obráběč kovů, před prací) vykazují reverzaci magnetizace na nízkých magnetických polích. U těchto vzorků byla detekovaná nejvyšší magnetická odezva, která vykazovala saturační magnetizací cca. $0,0002 \text{ Am}^2/\text{kg}$, koercitivní pole se pohybovalo v rozsahu od 5-10 kA/m (Obrázek 19). Zatímco ostatní vzorky obsahující železo vykazují spíše diamagnetické chování, kde nebyla pozorována viditelná reverzace (Obrázek 20).

Ze získaných výsledků magnetizačních křivek je možné vypořádat, že feromagnetické chování vykazují vzorky slin respondentů, jejichž povolání je úzce spojeno s kovy. U těchto povolání je tedy vyšší expozice kovy, a tudíž je jejich přítomnost ve slinách pravděpodobnější. Feromagnetické chování vykazují také vzorky slin odebraných před prací (11A - restaurátorka, V.C – obráběč kovů), což může být následek opakované dlouhodobé expozice kovy během pracovní činnosti. Vzorek I.B (obchodní zástupce, práce bez respirátoru) vykazuje také feromagnetické vlastnosti, i když v tomto případě je možné hovořit o expozici kovů z dopravy, jelikož respondent v rámci pracovní činnosti cestuje.

Prach vzniklý z dopravy (tzv. silniční prach) prokazatelně částice na bázi kovů obsahuje, viz teoretická část [4].



Obrázek 19: Magnetizační křivky vzorků vykazujících feromagnetické chování.



Obrázek 20: Magnetizační křivky vzorků vykazujících diamagnetické chování.

Výsledky provedených analýz prokázaly přítomnost kovových částic ve vzorcích slin. Hlavní analýzou, kterou byla analýza bodová, byly zjištěny částice na bázi kovů ve vzorcích slin všech respondentů různých povolání, kteří nám své sliny poskytli (Tabulka 7). Při automatické plošné analýze byly poté detekovány částice na bázi kovů pouze u některých vzorků (Tabulka 9), u některých vzorků byly naopak částice na bázi kovů detekovány pouze plošnou analýzou. Je tedy možno říci, že i přes malou analyzovanou plochu v každém vzorku

(1 mm²) byly získány výsledky, které doplnily hlavní použitou metodu bodová SEM analýza).

Detekované částice na bázi kovů se pravděpodobně vyskytovaly ve formě svých oxidů, což lze předpokládat ze získaných EDS spektrech, kde byla zjištěna také přítomnost kyslíku. Ve většině vzorcích se jednalo o částice na bázi železa, které byly detekovány ve vzorcích před prací, po práci bez respirátoru, ale také ve vzorcích slin po práci s respirátorem. Z tohoto důvodu byly vzorky slin analyzovány také vibračním magnetometrem, čímž byla přítomnost železa potvrzena. Výsledky ukázaly, že vzorky vykazují nepatrné magnetické vlastnosti, konkrétně pak feromagnetické a diamagnetické.

Výskyt kovových částic ve vzorcích slin před prací je možno vysvětlit přítomností těchto částic ve vzduchu, na což poukazuje teoretické část práce. Dalším možným zdrojem kovových částic jsou potraviny. Potraviny mohou sami o sobě nějaké pevné částice obsahovat což bylo také dokázáno [43, 49], kovové částice se ovšem na potravu mohou dostat také uvolněním z obalového materiálu, jako je např. hliníková fólie. Dalším významným zdrojem pevných část ve slinách je kouření, což také bylo již dokázáno [34]. Výskyt kovových částic ve vzorcích slin po práci bez respirátoru je podmíněno vykonávanou prací. Většina námi oslovených respondentů přijde ve svém povolání do styku s kovy v různé podobě. Částice se mohou z různých předmětů uvolňovat, dostanou se tak do ovzduší a poté je jejich expozice velmi snadná. Mezi respondenty jsou povolání, jejichž práce přímo souvisí s kovy, jedná se o odjehlovače, zámečníka, svářeče, technického laboranta, restaurátorku a obráběče kovů. V případě svářečů byla již prokázána vysoká expozice kovy [30, 31]. Dalším povolání, které je vystaveno vysoké koncentraci prachu je horník, který mezi respondenty byl také. Ve studii [24] bylo prokázáno, že horník za svůj život vdechne cca 1000 g prachu, horníkům byla také věnována pozornost ve studii [32], kde se prokázala účinnost respiračních ochranných pomůcek při práci v dolech. Povolání zmíněná výše jsou kovům exponovaná opakovaně a dlouhodobě, což může mít za následek přítomnost kovových částic ve slinách ve větším množství, než je tomu v případě expozice kovů z životního prostředí.

Všechny detekované částice detekované oběma metodami se nacházely ve velikostech od 0,34 μm do 15 μm (Tabulka 8, Tabulka 9). Velikostně nelze rozlišit částice, které respirátory prošly od těch, které byly detekovány ve vzorcích slin po práci bez respirátoru. Na velikosti částic závisí jejich osud v lidském těle. Podrobnější popis souvislosti mezi velikostí částic a jejich osudu v lidském těle je uveden v teoretické části. Stručný přehled

osudu pevných částic podle velikosti v lidském těle je uveden na Obrázku 2. Z naměřených velikostí detekovaných částic je zřejmé, že byly detekovány pouze tři částice o velikosti nad 10 μm . Ostatní detekované částice byly menší, což dle Obrázku 2 může znamenat, že se dýchacím ústrojím dostanou snadno do lidského organismu. Z Tabulky 8 a 9 lze vypožorovat, že byly detekovány také částice menší než 1 μm , takto malé částice se mohou poté dostat až do plicních sklípků a může zde dojít také k jejich akumulaci. Mikronové a submikronové částice představují velké riziko pro lidský organismus, neboť se mohou dostat do různých orgánů, tkání či dokonce krve.

Z naměřených výsledků není možno jistě definovat účinnost použitých respiračních ochranných prostředků, neboť naměřená data nejsou jednoznačná. Získané výsledky byly ovlivněny mnoha faktory, mezi nimi dominuje převážně lidský faktor (nasazení respirátoru, dodržení postupů, vyplnění dotazníku). Pro získání vypovídajících výsledků by bylo nutné dodržet stejné podmínky při práci bez respirátoru i s respirátorem (stejně prostřední, pracovní podmínky, vykonávaná činnost, apod). Výsledky získané po práci s respirátorem mohou být také ovlivněny nesprávným použitím daného respirátoru, čímž se jeho účinnost výrazně snižuje. Výsledky zkresluje také skutečnost, že nelze oddělit pracovní a životní prostředí, ve kterém se pevné částice hojně také nachází.

K získání relevantních výsledků se jeví použitá metoda bodové SEM analýzy jako vhodná, přičemž je vhodné také jako doplňující metodu použít automatickou plošnou analýzu. Automatická plošná analýza je vhodnou metodou pro analýzu celé plochy vzorku, musí však být nastaveny správně požadované parametry měření. Nastavení parametrů v případě námi analyzovaných vzorků (slin) bylo velmi složité, neboť sliny obsahovaly velké množství krystalů solí, což detekci kovových částic znesnadňovalo.

4. Závěr

V teoretické části této diplomové práce byla provedena literární rešerše, která poskytla informace o rozdělení prachu z hlediska jeho vzniku a také z hlediska velikostí jeho částic. V práci jsou také zmíněny informace o možných negativních zdravotních následcích pro člověka po různých expozicích prachu. Dále jsou v práci také uvedeny informace o ochranných pracovních prostředcích, zejména jejich rozdělení, označení a určení.

V praktické části byl analyzován soubor vzorků slin od třinácti respondentů, kteří vzorky svých slin poskytli dobrovolně po vyplnění dotazníku (Příloha). Vzorky byly odebrány ve dvou dnech, přičemž první den respondenti pracovali bez respirátoru a den druhý s respirátorem. Detekce částic byla provedena prostřednictvím skenovacího elektronového mikroskopu, a to jak bodovou analýzou, tak také automatickou plošnou analýzou. Následně byly vzorky s obsahem částic na bázi železa analyzovány vibračním magnetometrem pro získání informací o jejich magnetických vlastnostech.

Ve vzorcích slin bylo zjištěno poměrně velké množství částic na bázi kovů různého chemického složení. V případě bodové analýzy byly detekovány kovové částice ve všech analyzovaných vzorcích, konkrétně byly detekovány částice s obsahem Fe, Ni, Cu, Ti, Ag a Mn. Automatickou plošnou analýzou byly následně detekovány částice na bázi Fe, Ti a Ce, tyto částice byly detekovány pouze v některých vzorcích, a to z důvodů malé analyzované plochy vzorku. Některé z těchto chemických látek mohou mít prokazatelně negativní vliv na živý organismus. Mnohé studie prokázaly přímou souvislost mezi přítomností těchto částic kovů (převážně ve formě oxidů) v dýchacím ústrojí a některými nemocemi nejen u zvířat, ale také u člověka. Vzorky, ve kterých byly detekovány částice na bázi železa, poté vykazovaly také slabé feromagnetické či diamagnetické chování.

Účinnost respiračních ochranných pomůcek při práci nelze jednoznačně zhodnotit. Výsledky jsou ovlivněny mnoha faktory. Mezi tyto faktory patří např. vykonávaná činnost mezi odběry vzorků slin. Vzhledem k tomu, že byly vzorky odebírány ve dvou dnech, nebylo zaručeno vykonávání stejné práce mezi odběry. Jiná činnost během práce s respirátorem a bez něj může mít na získané výsledky vliv, mohlo dojít např. k vyšší expozici částic během práce s respirátorem, což by průnik částic respirátorem zvýšilo. Dalším ovlivňujícím faktorem může být také nesprávné nasazení respirátoru, což vede k výraznému snížení jeho účinnosti. V neposlední řadě také přítomnost částic ve slinách ovlivňují potraviny, nápoje či kouření. Pro získání relevantních výsledků by bylo třeba analyzovat vzorky, které by byly odebírány za stejných podmínek, přičemž by zároveň bylo dodrženo a zkontrolováno

správně nasazení respirační ochranné pomůcky. Vzhledem k aktuálnosti tématu by bylo vhodné tuto pilotní studii rozšířit na větší soubor testovaných a definovat přesněji samotné podmínky odběru. Také by bylo vhodné provádět odběry více pracovních dnů a pouze u vybraných profesí. Tím by bylo možné získat relevantnější výsledky a lépe tak posoudit samotnou účinnost vybraných respirátorů.

5. Použitá literatura

- [1] JAKUBIČKOVÁ, Michaela. UVOLŇOVÁNÍ PRACHOVÝCH ČÁSTIC Z BAVLNĚNÉ TEXTILIE PO POŠKOZENÍ. Liberec, 2013. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. Vedoucí práce Ing. Karolína Borůvková.
- [2] Hollerová J. Prašnost na pracovišti, SZÚ. SZÚ [online]. Copyright © 2007 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>
- [3] Nebezpečí polétavého prachu. In: Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha, 2010 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz>
- [4] KHAN, Raihan K. a Mark A. STRAND. Road dust and its effect on human health: a literature review. Epidemiology and Health. 2018, 40. DOI: 10.4178/epih.e2018013.
- [5] ARAKI, Atsuko, Yu AIT BAMA, Rahel Mesfin KETEMA a Reiko KISHI. House Dust and Its Adverse Health Effects. Nippon Eiseigaku Zasshi (Japanese Journal of Hygiene). 2018, 73(2), 130-137. DOI: 10.1265/jjh.73.130.
- [6] MATUŠÍNSKÝ, Leo. Riziko hluku, vibrací a prachu na pracovišti pily. Ostrava, 2018. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Katedra požární ochrany. Vedoucí práce Ing. Jiří Vala, Ph.D.
- [7] What are the Effects of Dust on the Lungs?: OSH Answers . Canadian Centre for Occupational Health and Safety [online]. Copyright © [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/lungs_dust.html
- [8] Co to je a jak vzniká? - Moravskoslezský kraj. Moravskoslezský kraj [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.msk.cz/cz/ovzdusi/smogove-situace/co-to-je-a-jak-vznika---24595/>
- [9] Co je vhodné při nastalé smogové situaci? - Moravskoslezský kraj. Moravskoslezský kraj [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.msk.cz/cz/ovzdusi/smogove-situace/co-je-vhodne-pri-nastale-smogove-situaci--24598/>
- [10] Za jakých podmínek se vyhlásuje smogová situace – Moravskoslezský kraj. Moravskoslezský kraj [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.msk.cz/cz/ovzdusi/smogove-situace/za-jakych-podminek-se-vyhlasuje-smogova-situace-24601/>

- [11] Ovzduší a zdraví (1. část) - prach – Moravskoslezský kraj. Moravskoslezský kraj [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.msk.cz/cz/ovzdusi/ovzdusi_a_zdravi/ovzdusi-a-zdravi-1-cast---prach-30787/
- [12] Ovzduší a zdraví (3. část) - dýchací soustava – Moravskoslezský kraj. Moravskoslezský kraj [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.msk.cz/cz/ovzdusi/ovzdusi_a_zdravi/ovzdusi-a-zdravi-3-cast---dychaci-soustava-32868/
- [13] ZHANG, Meibian, Le JIAN, Pingfan BIN, Mingluan XING, Jianlin LOU, Liming CONG a Hua ZOU. Workplace exposure to nanoparticles from gas metal arc welding process. *Journal of Nanoparticle Research*. 2013, 15(11). DOI: 10.1007/s11051-013-2016-4.
- [14] LING, Min-Pei, Chia-Pin CHIO, Wei-Chun CHOU, Wei-Yu CHEN, Nan-Hung HSIEH, Yi-Jun LIN a Chung-Min LIAO. Assessing the potential exposure risk and control for airborne titanium dioxide and carbon black nanoparticles in the workplace. *Environmental Science and Pollution Research*. 2011, 18(6), 877-889. DOI: 10.1007/s11356-011-0447-y.
- [15] TSAI, Chuen-Jinn, Cheng-Yu HUANG, Sheng-Chieh CHEN, et al. Exposure assessment of nano-sized and respirable particles at different workplaces. *Journal of Nanoparticle Research*. 2011, 13(9), 4161-4172. DOI: 10.1007/s11051-011-0361-8.
- [16] HAM, Seunghon, Chungsik YOON, Euseung LEE, Kiyong LEE, Donguk PARK, Eunkyo CHUNG, Pilje KIM a Byoungcheun LEE. Task-based exposure assessment of nanoparticles in the workplace. *Journal of Nanoparticle Research*. 2012, 14(9). DOI: 10.1007/s11051-012-1126-8.
- [17] CURWIN, Brian a Steve BERTKE. Exposure Characterization of Metal Oxide Nanoparticles in the Workplace. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2011, 8(10), 580-587. DOI: 10.1080/15459624.2011.613348.
- [18] LAI, Chia-Hsiang, Chia-Hua LIN a Chang-Chun LIAO. Respiratory deposition and health risk of inhalation of particle-bound heavy metals in the carbon black feeding area of a tire manufacturer. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2017, 10(10), 1281-1289. DOI: 10.1007/s11869-017-0515-7.

- [19] PIETROWSKI, Piotr a Katarzyna MAJCHRZYCKA. Respiratory protection equipment – requirements and selection. In: OSHwiki [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: https://oshwiki.eu/wiki/Respiratory_protection_equipment_%E2%80%93_requirements
- [20] VOJTA, Zdeněk a Emil RUCKÝ. Osobní ochranné pracovní pomůcky. 2. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 80-86634-19-1.
- [21] Poskytování osobních ochranných pracovních prostředků – Portál BOZP. Domů – Portál BOZP [online]. Copyright © 2014 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.bozpprofi.cz/33/poskytovani-osobnich-ochrannych-pracovnich-prostredku-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ep_FUjZLTuw85AnT20o5gvI/
- [22] Osobní ochranné pracovní prostředky – Portál BOZP. Domů – Portál BOZP [online]. Copyright © 2014 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <http://www.portalbozp.cz/osobni-ochranne-pracovni-prostredky/>
- [23] Respiratory protective equipment at work. HSE: Information about health and safety at work. The Health and Safety Authority. [online]. 05.2013, s. 1-59 Copyright © [cit. 2020-05-15]. ISBN 978 0 7176 6454 2. Dostupné z: <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg53.pdf>
- [24] Pomůcky pro ochranu dýchacích cest II – Portál BOZP. Domů – Portál BOZP [online]. Copyright © 2014 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.bozpprofi.cz/33/pomucky-pro-ochranu-dychacich-cest-ii-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_Z__FupBNyqp4QM4s2UgKwmw/
- [25] A Guide to Respiratory Protective Equipment. The Health and Safety Authority [online]. HSE: Information about health and safety at work. The Health and Safety Authority. 2010 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.hsa.ie/eng/Publications_and_Forms/Publications/Chemical_and_Hazardous_Substances/Respiratory%20Protective%20Equipment.pdf
- [26] ANTONINI, James M. Health Effects of Welding. *Critical Reviews in Toxicology*. 2008, **33**(1), 61-103. DOI: 10.1080/713611032.
- [27] Comparison of Pressure Drop and Filtration Efficiency of Particulate Respirators using Welding Fumes and Sodium Chloride. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2011. DOI: 10.1093/annhyg/mer032.

- [28] WIĘCKOL-RYK, Angelika, Alicja KRZEMIEN a Fernando SÁNCHEZ LASHERAS. Assessing the breathing resistance of filtering-facepiece respirators in Polish coal mines: A survey and laboratory study. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2018, 68, 101-109. DOI: 10.1016/j.ergon.2018.07.001.
- [29] SANDARADURA, I., E. GOEMAN, G. PONTIVIVO, et al. A close shave? Performance of P2/N95 respirators in healthcare workers with facial hair: results of the BEARDS (BENCHMARKING Adequate Respiratory DefenceS) study. *Journal of Hospital Infection*. 2020, **104**(4), 529-533. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.01.006.
- [30] MUELLER, William, Claire J. HORWELL, Andrew APSLEY, Susanne STEINLE, Stephanie MCPHERSON, John W. CHERRIE a Karen S. GALEA. The effectiveness of respiratory protection worn by communities to protect from volcanic ash inhalation. Part I: Filtration efficiency tests. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2018, **221**(6), 967-976. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.03.012.
- [31] STEINLE, Susanne, Anne SLEEUWENHOEK, William MUELLER, Claire J. HORWELL, Andrew APSLEY, Alice DAVIS, John W. CHERRIE a Karen S. GALEA. The effectiveness of respiratory protection worn by communities to protect from volcanic ash inhalation. Part II: Total inward leakage tests. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2018, **221**(6), 977-984. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.03.011.
- [32] RENSTROM, A., A.-S. KARLSSON a E. TOVEY. Nasal air sampling used for the assessment of occupational allergen exposure and the efficacy of respiratory protection. *Clinical Experimental Allergy*. 2002, **32**(12), 1769-1775. DOI: 10.1046/j.1365-2222.2002.01545.x.
- [33] Total Inward Leakage of Nanoparticles Through Filtering Facepiece Respirators. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2011. DOI: 10.1093/annhyg/meq096.
- [34] KUKUTSCHOVÁ, Jana, Hana RAJHELOVÁ, Pavlína PEIKERTOVÁ, Karla ČECH BARABASZOVÁ, Kateřina MAMULOVÁ KUTLÁKOVÁ, Miroslav VACULÍK a Jana KUKUTSCHOVÁ. Determination of Oxidative Potential Caused by Brake Wear Debris in Non-Cellular Systems. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2018, 2018(18), 1-7. DOI: 10.1166/jnn.2018.15866.

- [35] ŠEDIVCOVÁ, Pavlína. REAKTIVNÍ FORMY KYSLÍKU A JEJICH NEUROFYZIOLOGICKÁ ÚLOHA. Praha, 2012. Diplomová práce. Karlova univerzita, Fakulta tělesné výchovy a sportu. Vedoucí práce Doc. MUDr. Jakub Otáhal, Ph.D.
- [36] ČABANOVÁ, Kristina, Hana BIELNIKOVÁ, Oldřich MOTYKA, Pavlína PEIKERTOVÁ, Kateřina DĚDKOVÁ, Jana DVOŘÁČKOVÁ, Kamila HRABOVSKÁ a Jana KUKUTSCHOVÁ. Detection of Micron and Submicron Particles in Human Bronchogenic Carcinomas. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2018, 2018(18), 1-7. DOI: 10.1166/jnn.2018.15842.
- [37] HAUTOT, D., Q. A. PANKHURST, N. KHAN a J. DOBSON. Preliminary evaluation of nanoscale biogenic magnetite in Alzheimer's disease brain tissue. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2003, 270(Suppl_1), S62-S64. DOI: 10.1098/rsbl.2003.0012.
- [38] MAHER, Barbara A., Imad A. M. AHMED, Vassil KARLOUKOVSKI, et al. Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016, **113**(39), 10797-10801. DOI: 10.1073/pnas.1605941113.
- [39] MENG, H, Z CHEN, G XING, H YUAN, C CHEN, F ZHAO, C ZHANG a Y ZHAO. Ultrahigh reactivity provokes nanotoxicity: Explanation of oral toxicity of nano-copper particles. *Toxicology Letters*. 2007, **175**(1-3), 102-110. DOI: 10.1016/j.toxlet.2007.09.015.
- [40] NAVOLOKIN, N A, G N MASLYAKOVA, A B BUCHARSKYA, X M KONG, V V ZUEV, B A MEDVEDEV, A A IGNATIEV a T V BOCHKARYEVA. Morphological changes in the kidney, liver and spleen during prolonged administration of iron nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*. 2012, **345**. DOI: 10.1088/1742-6596/345/1/012043.
- [41] HASNIS, Erez, Abraham Z. REZNICK, Shimon POLLACK, Yfat KLEIN a Rafael M. NAGLER. Synergistic effect of cigarette smoke and saliva on lymphocytes—the mediatory role of volatile aldehydes and redox active iron and the possible implications for oral cancer. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 2004, **36**(5), 826-839. DOI: 10.1016/j.biocel.2003.09.003.

- [42] KOLESAROVA, Adriana, Marcela CAPCAROVA, Henrieta ARPASOVA, Anna KALAFOVA, Peter MASSANYI, Norbert LUKAC, Jaroslav KOVACIK a Monika SCHNEIDGENOVA. Nickel-induced blood biochemistry alterations in hens after an experimental peroral administration. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2008, **43**(7), 625-632. DOI: 10.1080/03601230802234781.
- [43] ARPASOVA, Henrieta, Marcela CAPCAROVA, Anna KALAFOVA, Norbert LUKAC, Jaroslav KOVACIK, Grzegorz FORMICKI a Peter MASSANYI. Nickel induced alteration of hen body weight, egg production and egg quality after an experimental peroral administration. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2007, **42**(8), 913-918. DOI: 10.1080/03601230701623662.
- [44] Thoburn, T W, and Larsen, L R. Health hazard evaluation/toxicity determination report 74-16-272, Marathon Battery Company, Waco, Texas. [Hazards to personnel from nickel and cadmium exposure]. United States: N. p., 1976.
- [45] FLYVHOLM, Mari-Ann, Gitte Dalsgaard NIELSEN a Allan ANDERSEN. Nickel content of food and estimation of dietary intake. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* . 1984, **179**(6), 427-431. DOI: 10.1007/BF01043419.
- [46] DE JONG, Wim H., Eveline DE RIJK, Alessandro BONETTO, et al. Toxicity of copper oxide and basic copper carbonate nanoparticles after short-term oral exposure in rats. *Nanotoxicology*. 2018, **13**(1), 50-72. DOI: 10.1080/17435390.2018.1530390.
- [47] LEE, In-Chul, Je-Won KO, Sung-Hyeuk PARK, et al. Comparative toxicity and biodistribution assessments in rats following subchronic oral exposure to copper nanoparticles and microparticles. *Particle and Fibre Toxicology*. 2016, **13**(1). DOI: 10.1186/s12989-016-0169-x.
- [48] ANREDDY, Rama Narsimha Reddy. Copper oxide nanoparticles induces oxidative stress and liver toxicity in rats following oral exposure. *Toxicology Reports*. 2018, **5**, 903-904. DOI: 10.1016/j.toxrep.2018.08.022.
- [49] GOTTELAND, Martin, Magdalena ARAYA, Fernando PIZARRO a Manuel OLIVARES. *Digestive Diseases and Sciences*. **46**(9), 1909-1914. DOI: 10.1023/A:1010683014390.

- [50] PANG, Yaohong, David L. MACINTOSH a P. Barry RYAN. A Longitudinal Investigation of Aggregate Oral Intake of Copper. *The Journal of Nutrition*. 2001, **131**(8), 2171-2176. DOI: 10.1093/jn/131.8.2171.
- [51] TASSINARI, Roberta, Francesco CUBADDA, Gabriele MORACCI, et al. Oral, short-term exposure to titanium dioxide nanoparticles in Sprague-Dawley rat: focus on reproductive and endocrine systems and spleen. *Nanotoxicology*. 2013, **8**(6), 654-662. DOI: 10.3109/17435390.2013.822114.
- [52] ZE, Yuguan, Lei SHENG, Xiaoyang ZHAO, et al. Neurotoxic characteristics of spatial recognition damage of the hippocampus in mice following subchronic peroral exposure to TiO₂ nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*. 2014, **264**, 219-229. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.10.072.
- [53] SANG, Xuezi, Bing LI, Yuguan ZE, et al. Toxicological Mechanisms of Nanosized Titanium Dioxide-Induced Spleen Injury in Mice after Repeated Peroral Application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013, **61**(23), 5590-5599. DOI: 10.1021/jf3035989.
- [54] Vasantharaja, D., Ramalingam, V., Aadinaath Reddy, G. Oral toxic exposure of titanium dioxide nanoparticles on serum biochemical changes in adult male Wistar rats. *Nanomedicine Journal*, 2015; **2**(1): 46-53. DOI: 10.7508/nmj.2015.01.005
- [55] WANG, J, G ZHOU, C CHEN, et al. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicology Letters*. 2007, **168**(2), 176-185. DOI: 10.1016/j.toxlet.2006.12.001.
- [56] WALTON, J.R. Chronic Aluminum Intake Causes Alzheimer's Disease: Applying Sir Austin Bradford Hill's Causality Criteria. *Journal of Alzheimer's Disease*. 2014, **40**(4), 765-838. DOI: 10.3233/JAD-132204.
- [57] ZHANG, Q.L., L. JIA, X. JIAO, W.L. GUO, J.W. JI, H.L. YANG a Q. NIU. APP/PS1 Transgenic Mice Treated with Aluminum: An Update of Alzheimer's Disease Model. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*. 2012, **25**(1), 49-58. DOI: 10.1177/039463201202500107.

[58] HIRSCH, E. C., J.-P. BRANDEL, P. GALLE, F. JAVOY-AGID a Y. AGID. Iron and Aluminum Increase in the Substantia Nigra of Patients with Parkinson's Disease: An X-Ray Microanalysis. *Journal of Neurochemistry*. 1991, **56**(2), 446-451. DOI: 10.1111/j.1471-4159.1991.tb08170.x.

[59] SKALSKA, Joanna, Małgorzata FRONTCZAK-BANIEWICZ a Lidia STRUŻYŃSKA. Synaptic degeneration in rat brain after prolonged oral exposure to silver nanoparticles. *NeuroToxicology*. 2015, **46**, 145-154. DOI: 10.1016/j.neuro.2014.11.002.

[60] VAN DER ZANDE, Meike, Rob J. VANDEBRIEL, Elke VAN DOREN, et al. Distribution, Elimination, and Toxicity of Silver Nanoparticles and Silver Ions in Rats after 28-Day Oral Exposure. *ACS Nano*. 2012, **6**(8), 7427-7442. DOI: 10.1021/nn302649p.

[61] SHAHARE, Brigesh a Madhu YASHPAL. Toxic effects of repeated oral exposure of silver nanoparticles on small intestine mucosa of mice. *Toxicology Mechanisms and Methods* [online]. 2013, **23**(3), 161-167. DOI: 10.3109/15376516.2013.764950.

[62] Cer, chemický prvek Ce, popis a vlastnosti. Periodická soustava prvků [online]. Copyright © 2009 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/58.html>

[63] KAWAGOE, Masami, Kiyoshi ISHIKAWA, Shou-Cun WANG, et al. Acute effects on the lung and the liver of oral administration of cerium chloride on adult, neonatal and fetal mice. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2008, **22**(1), 59-65. DOI: 10.1016/j.jtemb.2007.08.003.

[64] LUAN, B.L., D. YANG, X.Y. LIU a G.-L. SONG. Corrosion protection of magnesium (Mg) alloys using conversion and electrophoretic coatings. *Corrosion of Magnesium Alloys*. Elsevier, 2011, 2011, s. 541-564. DOI: 10.1533/9780857091413.4.541.